

ARTIKEL ILMIAH

**PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR GEDUNG
MENGUNAKAN TIGA TIPE BASE ISOLATOR PADA
MODIFIKASI GEDUNG RSUD KABUPATEN LOMBOK BARAT
DENGAN METODE PUSHOVER ANALISIS**

*Comparison Of Building Structural Performance Using Three Types Of Base
Isolators In West Lombok Regency Hospital Building Modification Using The
Pushover Analysis Method*

Artikel ilmiah
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh :

**Wahyu Taufiq Hidayat
F1A 118 082**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2024**

ARTIKEL ILMIAH

**PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR GEDUNG
MENGUNAKAN TIGA TIPE BASE ISOLATOR PADA
MODIFIKASI GEDUNG RSUD KABUPATEN LOMBOK BARAT
DENGAN METODE PUSHOVER ANALISIS**

Oleh:

WAHYU TAUFIQ HIDAYAT
FIA 118 082

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing

1. Pembimbing Utama



Fathmah Mahmud, ST., MT.
NIP. 19711109 200012 2 001

Tanggal: 28/3 2024

2. Pembimbing Pendamping



Prof. Ir. Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D
NIP. 19760804 200003 2 001

Tanggal: 28/3 2024

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Harivadi, ST., MSc(Eng)., Dr. Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

ARTIKEL ILMIAH

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR GEDUNG
MENGUNAKAN TIGA TIPE BASE ISOLATOR PADA
MODIFIKASI GEDUNG RSUD KABUPATEN LOMBOK BARAT
DENGAN METODE PUSHOVER ANALISIS

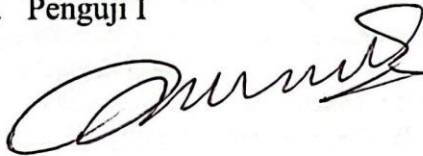
Oleh:

WAHYU TAUFIQ HIDAYAT
F1A 118 082

Telah diujikan di depan tim penguji
Pada tanggal 13 Maret 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

1. Penguji I



Prof. Ir. Buan Anshari, ST., MSc. (Eng)., Ph.D Tanggal: 22/3 2024
NIP. 19710703 199802 1 001

2. Penguji II



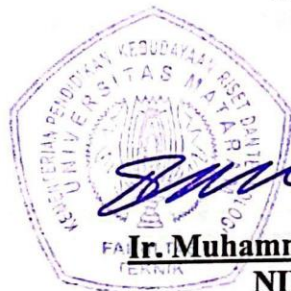
Aryani Rofaida, ST., MT. Tanggal: 28/3 2024
NIP. 19660729 199403 2 001

3. Penguji III



Hariyadi, ST., MSc(Eng)., Dr. Eng. Tanggal: 22/3 - 2024
NIP. 19731027 199802 1 001

Mataram, 2024
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Ir. Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D
NIP. 19720222 199903 1 002

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN TIGA TIPE BASE ISOLATOR PADA MODIFIKASI GEDUNG RSUD KABUPATEN LOMBOK BARAT DENGAN METODE PUSHOVER ANALISIS

Wahyu Taufiq Hidayat¹, Fathmah Mahmud¹, Kencanawati²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram ²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Email: wahyutaufighidayat47@gmail.com

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

ABSTRAK

Pada tahun 2018 BMKG mencatat gempa bumi berkekuatan 7,0 SR dan peringatan tsunami terjadi di Pulau Lombok. Hal ini mengakibatkan banyak kerusakan infrastruktur yang cukup parah. Untuk mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi, diperlukan penggunaan *base isolation system* pada struktur. Konsep dari *base isolation system* yaitu memisahkan antara struktur atas dan bawah bangunan agar getaran tanah akibat gempa tidak disalurkan ke struktur atas bangunan, sehingga diharapkan dapat memperkecil pengaruh gaya gempa dan mengurangi kerusakan dari bangunan. Skripsi ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur gedung menggunakan tiga tipe base isolator pada modifikasi gedung Rumah Sakit Umum Daerah Lombok Barat.

Pada analisis ini digunakan 3 tipe base isolator yaitu tipe *Lead Rubber Bearing (LRB)*, tipe *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, dan tipe *Friction Pendulum System (FPS)*. Metode analisis yang digunakan untuk mendapatkan perbandingan dari level kinerja struktur adalah pushover analysis. Pada analisis ini digunakan struktur existing gedung rumah sakit yang sudah dimodifikasi, kemudian akan dihitung terlebih dahulu dengan menggunakan metode pushover analysis dan akan dibandingkan saat ditambahkan 3 tipe base isolator, sehingga pada analisis ini akan didapatkan jenis isolator yang paling efektif. Dalam analisis digunakan program bantu yaitu ETABS Student Version.

Dari hasil analisis setelah dimodifikasi didapatkan 4 tipe dimensi balok, Balok S1 (700x400), Balok B1 (600x400), balok B3 (400x250), dan balok B4 (500x300). Untuk dimensi kolom didapatkan 4 tipe dimensi kolom, Kolom KPD (1200x1200), Kolom K1 (700x700), Kolom K2B (500x500), Kolom K3C (400x400). Untuk dimensi base isolator tipe LRB dengan kode LH80G4 dan untuk tipe HDRB dengan kode HL100X4S. Sedangkan untuk Base isolator tipe FPS didapatkan tipe TSP 6000/400/7. Penggunaan base isolator dapat meningkatkan periode getar struktur terhadap struktur *fixed base modifikasi* yang memiliki periode getar sebesar 1,511detik. Peningkatan untuk LRB, HDRB dan FPS berturut-turut adalah 2,887 detik; 2,773 detik; 5,079 detik. Terjadi peningkatan pada simpangan dasar arah x dan y. pada struktur *fixed base modifikasi*, simpangan dasar yang diperoleh 0,00. Pada tipe LRB, HDRB dan FPS, yakni berturut-turut sebesar 69,84%, 68,82%, 81,27% dan arah y sebesar 67,40%, 66,31%, 80,25%. Dengan penggunaan base isolator nilai gaya geser dasar struktur dapat tereduksi terhadap struktur *fixed base modifikasi*, untuk tipe LRB, HDRB dan FPS berturut-turut adalah 49%, 47% dan 66%. Penggunaan base isolator juga mampu mereduksi simpangan antar lantai terhadap struktur *fixed base modifikasi* pada arah x dan y, untuk tipe LRB, HDRB dan FPS berturut-turut sebesar 42,30%, 39,17% dan 72,71%, dan arah y sebesar 44,50%, 41,68% dan 71,33%. Untuk hasil evaluasi level kinerja dengan analisis pushover pada masing-masing tipe base isolator berada pada level *Immediate Occupancy (IO)* dan *Damage Control (DC)* pada arah x dan y dengan menggunakan metode ATC-40 dan FEMA 356. Dengan mempertimbangkan beberapa faktor tersebut, dapat disimpulkan bahwa tipe FPS adalah tipe base isolator yang paling efektif sebagai peredam gempa dibandingkan tipe LRB dan HDRB.

Kata kunci: Rumah Sakit, *Base Isolation*, *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, *Friction Pendulum System (FPS)*, *Lead Rubber Bearing (LRB)*.

ABSTRACT

In 2018 BMKG recorded an earthquake measuring 7.0 SR and a tsunami warning occurred on Lombok Island. This resulted in a lot of serious infrastructure damage. To reduce the damage caused by earthquakes, it is necessary to use base isolation system on structure. Concept of base isolation system namely separating the upper and lower structures of the building so that ground vibrations caused by the earthquake are not transmitted to the upper structure of the building, so it is hoped that it can minimize the influence of earthquake forces and reduce damage to the building. This thesis aims to compare the performance of building structures using three types of base isolators in the modification of the West Lombok Regional General Hospital building.

In this analysis, 3 types of base insulators are used, namely type Lead Rubber Bearing (LRB), type High Damping Rubber Bearing (HDRB), and type Friction Pendulum System (FPS). The analytical method used to obtain a comparison of structural performance levels is pushover analysis. In this analysis, the existing structure of the hospital building which has been modified is used, then it will be calculated first using the pushover analysis method and will be compared when 3 types of base insulator are added, so that in this analysis the most effective type of insulator will be obtained. In the analysis, an auxiliary program was used, namely ETABS Student Version.

From the results of the analysis after modification, 4 types of beam dimensions were obtained, Beam S1 (700x400), Beam B1 (600x400), Beam B3 (400x250), and Beam B4 (500x300). For column dimensions, there are 4 types of column dimensions, KPD Column (1200x1200), K1 Column (700x700), K2B Column (500x500), K3C Column (400x400). For the dimensions of the LRB type base insulator, the code is LH80G4 and for the HDRB type, the code is HL100X4S. Meanwhile, for the FPS type base insulator, the TSP 6000/400/7 type is obtained. The use of base isolators can increase the vibration period of the structure fixed base modification which has a vibration period of 1.511 seconds. The improvements for LRB, HDRB and FPS are 2.887 seconds respectively; 2.773 seconds; 5.079 seconds. There is an increase in the basic deviation in the x and y directions. on structure fixed base modification The basic deviation obtained is 0.00. In the LRB, HDRB and FPS types, namely 69.84%, 68.82%, 81.27% respectively and in the y direction it is 67.40%, 66.31%, 80.25%. By using a base insulator, the value of the base shear force of the structure can be reduced against the structure fixed base modification, for LRB, HDRB and FPS types respectively are 49%, 47% and 66%. The use of base isolators is also able to reduce drift between floors in the structure fixed base modification in the x and y directions, for the LRB, HDRB and FPS types respectively it is 42.30%, 39.17% and 72.71%, and in the y direction it is 44.50%, 41.68% and 71.33%. The results of the performance level evaluation using pushover analysis for each type of base insulator are at level Immediate Occupancy (IO) and Damage Control (DC) in the x and y directions using the ATC-40 and FEMA 356 methods. By considering several factors, it can be concluded that the FPS type is the most effective type of base insulator as an earthquake reducer compared to the LRB and HDRB types.

Keywords: Hospital, Base Isolation, High Damping Rubber Bearing (HDRB), Friction Pendulum System (FPS), Lead Rubber Bearing (LRB).

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang sering terkena bencana gempa bumi. Secara sains dan teknologi hal ini disebabkan karena adanya pertemuan antara tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Asia, lempeng Benua Australia, dan lempeng Samudera Pasifik. Pada tahun 2018 BMKG mencatat gempa berkekuatan 7,0 SR dan peringatan tsunami pada Pulau Lombok. Dampak bencana gempa ini mengakibatkan kerugian berupa kehilangan harta benda, korban jiwa, serta kerusakan infrastruktur yang mengganggu proses prekonomian di NTB terutama di Pulau Lombok.

Salah satu upaya untuk mengurangi kerusakan akibat gempa bumi adalah menggunakan base isolation system pada gedung tersebut. Konsep dari base isolation system yaitu memisahkan antara struktur atas bangunan dengan struktur bawah bangunan agar getaran tanah akibat gempa tidak disalurkan ke struktur atas bangunan, sehingga diharapkan dapat memperkecil pengaruh gaya gempa dan mengurangi kerusakan dari bangunan tersebut. Alat untuk memisahkan struktur bangunan disebut base isolator. Dimana dengan base isolator ini dapat memperpanjang periode struktur sehingga mampu merendam getaran serta memperlambat gerakan gedung bertingkat yang diakibatkan oleh gempa hal ini diartikan bahwa periode bangunan pada gedung bertingkat sangatlah berperan penting saat gempa terjadi.

Base isolation merupakan sebuah aplikasi pendekatan kendali pasif yang sangat baik digunakan. Sebuah bangunan dipasangkan dengan sebuah bahan dengan kekakuan lateral yang rendah (misal: karet) untuk mendapatkan dukungan yang fleksibel. Saat gempa terjadi, dukungan yang fleksibel tersebut mampu untuk menyaring frekuensi-frekuensi yang tinggi dari gerakan gempa dan mampu menanggulangi bangunan tersebut agar tidak rusak atau runtuh. Base isolation dengan demikian merupakan sebuah piranti yang efektif untuk memberikan proteksi bagi struktur bangunan rendah dan menengah sebab tipe bangunan tersebut dikarakteristikan memiliki frekuensi-frekuensi yang tinggi.

Ada banyak metode yang dapat digunakan dalam perencanaan struktur tahan gempa, namun untuk gedung bertingkat tinggi yang sistem strukturnya lebih kompleks, analisis

gempanya tentu saja berbeda. Dalam pendekatan desain seismik berbasis kinerja (performance-based seismic design) yang baru dikembangkan, prosedur analisis nonlinier menjadi penting dalam mengidentifikasi pola dan level kerusakan untuk menilai perilaku inelastik struktur dan untuk memahami mode kegagalan struktur selama peristiwa seismik berlangsung (Zou, 2005). Sementara pushover analysis adalah suatu cara untuk menganalisis struktur dengan beban statik tertentu dalam arah lateral yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai struktur mencapai simpangan target. Analisis pushover ini menghasilkan Kurva Kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dan perpindahan pada atap.

Analisis pushover dapat memberikan keuntungan, yaitu memungkinkan untuk mengevaluasi keseluruhan perilaku struktural dan karakteristik kinerja. Sehingga memungkinkan untuk dilakukan penyelidikan pembentukan sendi plastis pada masing-masing elemen struktur yang membentuk keseluruhan suatu struktur. Struktur yang diperkuat melalui proses rehabilitasi, memungkinkan secara selektif memperkuat bagian-bagian yg diperlukan, sehingga memaksimalkan efisiensi biaya.

Dalam penelitian ini akan digunakan tiga tipe base isolator yaitu High Damping Rubber Bearing (HDRB), Lead Rubber Bearing (LRB), dan Friction Pendulum System (FPS) dengan metode Pushover Analisis.

A. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan di atas maka dapat diambil rumusan masalah, yaitu:

- 1) Bagaimana pemodelan struktur Gedung RSUD Lombok Barat dengan menggunakan sistem isolasi?
- 2) Bagaimana perbandingan kinerja struktur Gedung RSUD Lombok Barat menggunakan beberapa jenis isolasi dengan metode Pushover?
- 3) Bagaimana perbandingan nilai periode, gaya geser dasar, simpangan, dan drift pada struktur bangunan *fixed base* (Existing), *fixed base* (Modifikasi), dan dengan struktur yang menggunakan sistem isolasi tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB), tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB), dan tipe *Friction Pendulum System* (FPS)?

B. Tujuan Desain

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui bagaimana permodelan struktur Gedung RSUD Lombok Barat dengan menggunakan sistem isolasi.
- 2) Untuk mendapatkan level kinerja struktur Gedung RSUD Lombok Barat menggunakan metode Pushover.
- 3) Untuk mendapatkan perbandingan nilai periode, gaya geser dasar, simpangan, dan drift pada struktur bangunan *fixed base* (Existing), *fixed base* (Modifikasi), dan dengan struktur yang menggunakan sistem isolasi tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB), tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB), dan tipe *Friction Pendulum System* (FPS).
- 4) Untuk mendapatkan tipe base isolator yang paling efektif dalam mereduksi gaya gempa dan meningkatkan kinerja struktur pada Gedung RSUD Lombok Barat.

C. Batasan Desain

Batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bangunan yang akan dianalisa adalah Gedung RSUD Lombok Barat yang berada di Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat.
- 2) Pembebanan dihitung berdasarkan SNI 1726-2019, untuk perencanaan struktur beton berdasarkan SNI 2847-2019 dan untuk peraturan pembebanan berdasarkan SNI 1727-2020.
- 3) Perencanaan tidak meliputi instalasi mekanikal, elektrik dan saluran air.
- 4) Perencanaan tidak memperhitungkan struktur pondasi.
- 5) Tidak meninjau dari segi metode pelaksanaan, analisa biaya, arsitektural dan manajemen konstruksi.
- 6) Software pemodelan struktur menggunakan program ETABS.
- 7) Analisa untuk base isolator mengacu pada katalog bridgestone

D. Manfaat Desain

Dari hasil perancangan ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memberikan pengetahuan tentang perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dengan sistem peredam gempa di wilayah Lombok.
2. Diharapkan memberikan manfaat dalam perkembangan-perkembangan konstruksi terutama pada tata cara perhitungan

ketahanan gempa untuk gedung bertingkat di wilayah Lombok.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

Gempa bumi menjadi fenomena yang sangat menakutkan dan merugikan. Banyaknya korban jiwa akibat tertimpa puing bangunan haruslah menjadi pelajaran. Untuk itu bangunan haruslah didesain aman terhadap gempa. Menurut Bambang dan Sahala (2018), ada dua tipe bangunan tahan gempa, yaitu: bangunan tahan gempa konvensional yang mengandalkan kekuatan bahan bangunannya yaitu sifat elastik (kaku) dan sifat liat (daktail). Sifat kaku dimiliki oleh bahan dari beton dan pasangan batu, sedangkan sifat liat dimiliki oleh logam, kayu dan bambu; Bangunan dengan sistem isolator dasar (*base isolation system*). Isolasi dasar berfungsi mengurangi energi gempa atau percepatan tanah dasar ke bangunan sehingga sifat merusak dari gempa dapat diminimalkan.

Sistem isolasi dasar merupakan desain struktur sederhana untuk mengurangi potensi kerusakan akibat gempa bumi. Isolasi dasar adalah sebuah pendekatan untuk menahan gempa bumi yang didasarkan pada konsep mereduksi beban seismik (*seismic demand*) daripada meningkatkan kapasitas struktur untuk menahan gempa. Pengaplikasian yang tepat pada teknologi ini akan memberikan performa struktur yang lebih baik yang pada dasarnya struktur akan elastis selama gempa besar terjadi (Naeim dan Kelly, 1999).

Syahnandito, (2020) dalam Jurnal Teknik Sipil membandingkan hasil analisis struktur pada struktur gedung tanpa *base isolator* dan struktur dengan *base isolator* tipe HDRB. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa periode struktur meningkat 30,58% jika menggunakan base isolator, hal ini berarti simpangan antar tingkat dengan base isolator lebih kecil dibandingkan dengan struktur tanpa base isolator.

Nugroho, (2019) dalam tugas akhirnya membandingkan kinerja antara struktur *fixed base* (konvensional) dengan struktur *base isolator* tipe LRB dan HDRB. Hasilnya adalah struktur yang menggunakan *base isolator* dapat meningkatkan periode struktur dibandingkan dengan struktur konvensional. Struktur konvensional memiliki periode getar sebesar 1,26 detik. Sedangkan pada struktur dengan *base isolator* tipe HDRB dan LRB berturut-turut sebesar 3,07 detik dan 2,91 detik. Selain itu nilai

simpangan dan nilai gaya geser pada struktur dengan *base isolator* lebih rendah dibandingkan dengan struktur konvensional.

Samsya, (2017) dalam tesisnya menyatakan bahwa dari hasil analisisnya, base isolator mampu mereduksi gempa sebesar yang terjadi dari struktur bawah ke struktur atas. Tidak hanya gaya geser dasar, base isolator juga mampu memperkecil nilai *displacement* dan *drift* pada setiap lantai struktur bangunan. Pada level kinerja struktur base isolator ternyata mampu lebih efektif daripada struktur *fix base*.

Adrian, (2017) dalam Jurnal Teknik Sipil melakukan analisa kinerja gedung dengan melakukan perencanaan gempa pada daerah gempa kecil kemudian hasil analisis tersebut digunakan untuk mendesain bangunan pada daerah gempa kuat dengan menambahkan base isolator tipe *high damping rubber bearing* (HDRB) pada dasar bangunan selanjutnya dilakukan analisa pushover. Gedung dimodifikasi pada jumlah lantainya yang sebelumnya 6 lantai menjadi 8 lantai. Dari hasil perhitungan analisa struktur. Displacement pada gedung yang menggunakan HDRB lebih besar dari pada gedung yang menggunakan sistem fixed-base yaitu akibat beban gempa dinamik displacement meningkat 66,97% untuk arah x dan 57,53% untuk arah y, Simpangan antar lantai pada gedung yang menggunakan HDRB lebih kecil dari pada gedung yang menggunakan sistem fixed-base yaitu akibat beban gempa dinamik tereduksi 82,52% untuk arah x dan 78,08% untuk arah y, Dari hasil analisa pushover, level kinerja gedung dengan isolasi berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 400 adalah B (*Operational*).

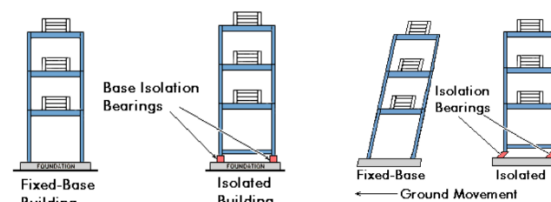
B. LANDASAN TEORI Bangunan Tahan Gempa

Indonesia menjadi negara dengan intensitas kegempaan yang sangat tinggi, untuk itu sangat disarankan membangun gedung dengan konstruksi tahan gempa yang akan meningkatkan keamanan gedung dan memperkecil kerugian. Konstruksi bangunan tahan gempa adalah bangunan yang bisa merespon gempa, dengan sikap bertahan dari keruntuhan dan bersifat fleksibel untuk meredam getaran gempa. Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang dirancang dan diperhitungkan secara analisis, baik kombinasi beban, penggunaan material, dan penempatan massa strukturnya. Perencanaan bangunan

tahan gempa konvensional selama ini berdasarkan pada konsep bagaimana meningkatkan kapasitas tahanan struktur terhadap gaya gempa yang bekerja padanya.

Base Isolation System

Gagasan-gagasan di balik konsep dari *base isolation system* adalah sangat sederhana, yaitu bagaimana memisahkan antara dasar bangunan yang berhubungan dengan tanah dan struktur bangunan atas, sehingga gerakan tanah tidak secara langsung ditransfer ke struktur atas. Konsep isolasi seismik merupakan perkembangan yang cukup signifikan dalam rekayasa kegempaan dalam 20 tahun terakhir ini. Sistem ini telah banyak digunakan Negara-Negara yang mempunyai resiko tinggi terhadap gempa seperti Jepang, Italy, USA, Selandia Baru, Portugal, Iran, Indonesia, Turki, China, dan Taiwan (Samsya, 2017).



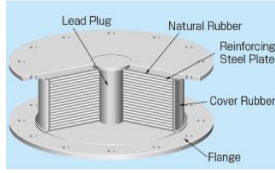
Gambar 1 (a) Bangunan Sebelum Gempa (b) Bangunan Setelah Gempa.

(Sumber: Nugroho dan Asmara, 2004)

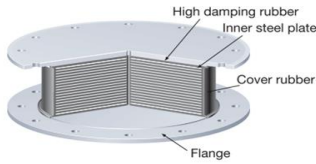
Adapun jenis base isolator ada beberapa macam, seperti *friction pendulum sistem*, *sliding* dan *rubber bearing* atau *elastomeric bearing*. *Rubber bearing* berupa *lead rubber* merupakan isolasi dasar yang berbahan dasar karet dan di tengahnya diisi dengan *lead* (timah). *Lead* berfungsi meyerap energi sehingga gaya gempa dapat berkurang. Jenis lain dari *rubber bearing* adalah *high damping rubber bearing* yang juga berbahan dasar karet dengan redaman tinggi. Dengan nilai kekakuan awal yang tinggi, HDRB dapat menopang gaya-gaya luar tanpa perubahan bentuk yang signifikan. Sebenarnya HDRB sama dengan LRB hanya saja karet pada HDRB sudah divariasikan agar memiliki kemampuan redaman yang lebih tinggi dan dapat menopang energi gempa bumi. (Budiono, B dan Setiawan A, 2014).

Sementara itu, Friction Pendulum Sistem (FPS) adalah bantalan yang banyak digunakan berdasarkan prinsip geser untuk memberikan fungsi redaman menggunakan gesekan. FPS memiliki penggeseran artikulasi yang bergerak

pada permukaan gesekan bola yang dilapisi dengan bahan komposit pelumas diri. Isolator jenis FPS lebih ekonomis dibandingkan dengan elastomer bearing, (Reddy dkk, 2017). Gambar masing-masing jenis base isolator dapat dilihat pada gambar 2 s/d 4.



Gambar 2 Lead rubber bearing (LRB)
(Sumber: Katalog Bridgestone Seismic Isolation Product, 2017)



Gambar 3 High damping rubber bearing (HDRB)
(Sumber: Katalog Bridgestone Seismic Isolation Product, 2017)



Gambar 4 Singel Friction Pendulum
(Sumber: Katalog TIS)

Desain Base Isolator

Dalam mendesain base isolator, terlebih dahulu dicari perpindahan maksimum, sebagai control batas simpangan.

$$D_M = \frac{g \times S_{M1} \times T_M}{4 \times \pi^2 \times B_M} \quad (1)$$

Dengan, g : percepatan gravitasi, satuan g adalah mm/det^2 , S_{M1} : parameter percepatan spektral gempa maksimum pada periode 1 detik, T_M : periode efektif struktur dengan isolasi seismic, B_M : Koefisien redaman.

Spesifikasi masing-masing base isolator didapatkan dari katalog, dengan mencari desain properties yang akan dimasukkan dalam analisis ETABS. Desain properties LRB dan HDRB tergantung pada regangan geser yang digunakan. Adapun persamaan desain properties seperti pada persamaan 2-23.

a. Lead Rubber Bearing (LRB)

- Kekakuan *lead*/timbal (K_p)

$$K_p = \frac{\alpha_p \times A_p}{H} \quad (2)$$

- Kekakuan *rubber*/karet (K_r)

$$K_r = G \times \frac{A_r}{H} \quad (3)$$

- Kekakuan pasca hasil (K_2)

$$K_2 = K_d = C_{Kd} \times (K_r + K_p) \quad (4)$$

- Kekakuan awal (K_1)

$$K_1 = \beta_i \times K_2 \quad (5)$$

- Karakteristik kekakuan (Q_d)

$$Q_d = C_{Qd} \times \sigma_{pb} \times A_p \quad (6)$$

- Perpindahan hasil (D_y)

$$D_y = \frac{Q_d}{(K_2 \times 10) - K_2} \quad (7)$$

- Kekuatan hasil (F_y)

$$F_y = Q_d + K_2 \times D_y \quad (8)$$

- Kekakuan efektif (K_{eff})

$$K_{eff} = \frac{Q_d}{\gamma \times H} + K_2 \quad (9)$$

- Redaman efektif (β_{eff})

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \frac{Q_d (\gamma \times H - \frac{Q_d \gamma}{12 K_d})}{K_{eff} \times (\gamma \times H)^2} \quad (10)$$

Dengan, G : Modulus geser karet, α_p : Modulus geser lead, σ_{pb} = Tegangan geser lead, γ : Regangan geser, C_{Kd} : Faktor koreksi kekakuan pasca-hasil, dan C_{Qd} : Faktor koreksi kekuatan karakteristik, A_r : Luas rubber, A_p : Luas lead, H : Ketebalan rubber, β_i : Rasio kekakuan awal pasca luluh,

b. High Damping Rubber Bearing (HDRB)

- Kekakuan efektif (K_{eff})

$$K_{eff} = \frac{G \times A}{H} \quad (11)$$

- Kekakuan pasca-hasil (K_2)

$$K_2 = K_{eff} (1-u) \quad (12)$$

- Kekakuan awal (K_1)

$$K_1 = 10 \times K_2 \quad (13)$$

- Karakteristik kekakuan (Q_d)

$$Q_d = u \times K_{eff} \times H \quad (14)$$

- Perpindahan hasil (D_y)

$$D_y = \frac{Q_d}{(K_2 \times 10) - K_2} \quad (15)$$

- Kekuatan hasil (F_y)

$$F_y = Q_d + K_2 \times D_y \quad (16)$$

Dengan, $G(\gamma)$: Modulus geser actual, $u(\gamma)$: Kekuatan geser maksimum, $\beta(\gamma)$:

Redaman efektif, A : Luas *rubber*, H : Tebal *rubber*.

c. *Friction Pendulum System (FPS)*

- Karakteristik kekakuan (Q)
 $Q = \mu_e \times P_u$ (17)

- Kekakuan pasca-hasil (K_2)
 $K_2 = \frac{P_u}{R_{ec}}$ (18)

- Kekakuan awal (K_1)
 $K_1 = 10 \times K_2$ (19)

- Perpindahan hasil (D_y)
 $D_y = \frac{Q}{(K_2 \times 10) - K_2}$ (20)

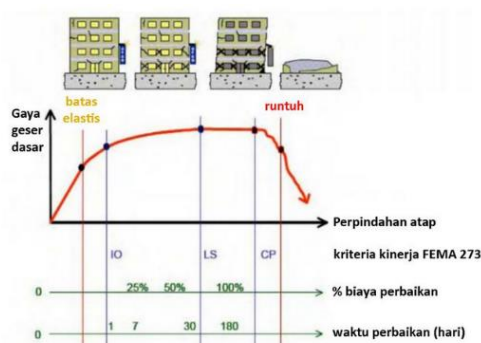
- Kekakuan efektif (K_{eff})
 $K_{eff} = \frac{Q}{U_b} + K_2$ (21)

- Perhitungan redaman efektif (β_{eff})
 $\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \frac{\mu_e \times R_{ec}}{U_b + \mu_e R_{ec}}$ (22)

Dengan, P_u : Gaya aksial kolom terbesar, μ_e : Koefisien friksi, R_{ec} : Jari-jari kelengkungan, U_b : D_M : Perpindahan rencana.

Kinerja Struktur

Kinerja struktur adalah tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan performa struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu.



Gambar 5 Kriteria kinerja struktur
 Sumber: FEMA 356

Level kinerja dibagi menjadi beberapa tingkatan kerusakan akibat gempa bumi yang meliputi angka kematian, kerusakan bangunan dan status operasional.

Tabel 1 Level Kinerja Sumber: ATC-40

Batas Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Struktural Stability
Simpangan total Maksimum	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 V_i/P_i
Simpangan Inelastis Maksimum	0.005	0.005 - 0.015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

1) *Immediate Occupancy*

Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalau berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan.

2) *Damage Control*

Merupakan transisi antara *Immediate Occupancy (IO) SP-1 dan Life Safety (LS) SP-3*. bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil

3) *Life Safety*

Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non struktural.

4) *Struktural Stability*

Struktur pasca gempa mengalami kerusakan sehingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktural penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keseluruhan

Pushover Analysis dengan Metode (FEMA 356)

Analisa Non-Linear Pushover merupakan salah satu prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa static *non-linier* atau analisa beban dorong *static*. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai atau salah satu elemen struktur sudah melampaui batas keruntuhan. Tujuan analisa pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Metode koefisien perpindahan FEMA 356 adalah suatu metode untuk prosedur statik nonlinier, yang dimana pendekatan menyediakan perhitungan

numerik langsung dari perpindahan global maksimum pada struktur. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi koefisien C_0 , C_1 , C_2 , C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastik) yang disebut target perpindahan (δ_T). Prosedur dimulai dengan menetapkan waktu efektif T_e .

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

Dimana :

- T_e : Waktu getar efektif
- T_1 : Waktu getar elastic
- K_i : Kekuatan lateral elastic
- K_e : Kekuatan lateral efektif

Kekakuan lateral efektif ini sangat tergantung dari penggambaran kurva bilinear dari kurva kapasitasnya, dihitung dengan persamaan berikut.

$$K_e = \frac{0.6 \times V_y}{0.6 \times \Delta_y}$$

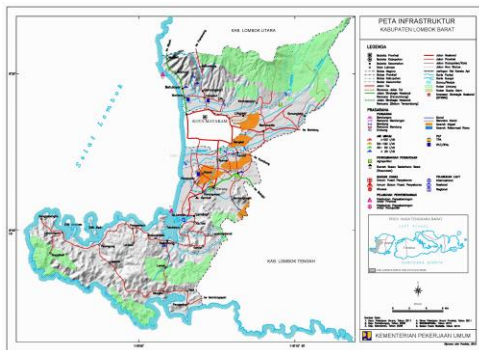
Target perpindahan didapat dari modifikasi respon elastik linier dan sistem *SDOF* ekuivalen dihitung dengan persamaan berikut.

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^1} g$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

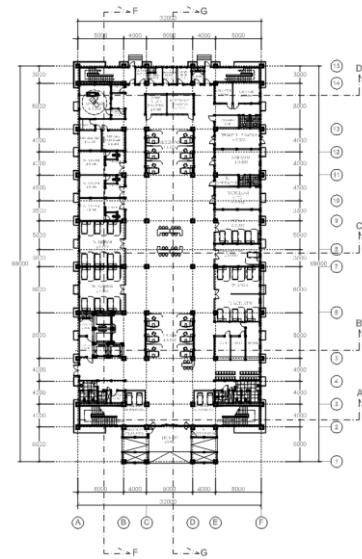
A. Lokasi dan Deskripsi Detail Gedung

Dalam tugas akhir ini, data gedung yang digunakan adalah Rumah Sakit Umum Daerah, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat. Struktur bangunan ini terdiri dari 5 lantai +2 lantai dak atap.



Gambar 5 Peta Kabupaten Lombok Barat (sumber : kabupaten-lombok-barat.html/)

Model struktur berupa gambar rencana untuk perencanaan struktur gedung ini terdiri dari denah, tampak potongan dan view tiga dimensi seperti pada gambar 6.



Gambar 6 Denah lantai dasar rencana struktur gedung RSUD Lobar (Sumber : DPUPR Lobar)

B. Tahapan Studi

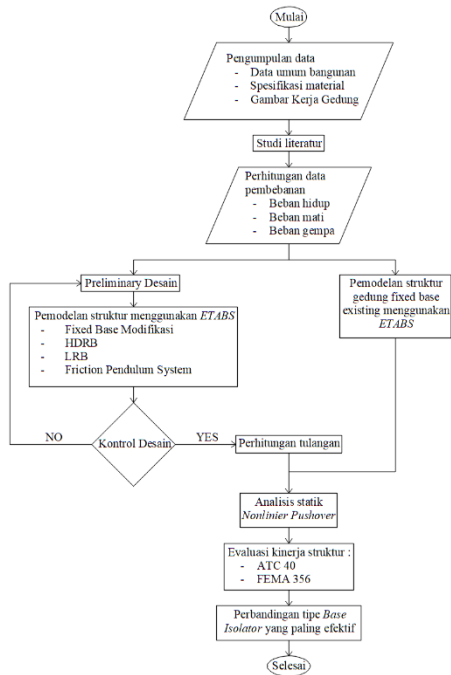
Tahapan persiapan yang dimaksud adalah pengumpulan data-data seperti studi literatur dan pengumpulan referensi-referensi terkait. Referensi yang dimaksud pada tugas akhir ini antara lain adalah jurnal-jurnal, artikel dan tugas akhir yang berkaitan dengan perbandingan struktur gedung konvensional dengan struktur yang menggunakan *Base Isolation System*, serta buku-buku terkait dengan analisis kinerja struktur Gedung dengan metode *pushover*.

C. Data Perencanaan dan Analisa Struktur Gedung

Data yang digunakan dalam perencanaan ini terdiri dari :

- a) Data umum bangunan meliputi :
 - Fungsi Gedung : Rumah sakit
 - Jumlah lantai existing : 5 Lantai
 - Jumlah lantai modifikasi : 7 Lantai
- b) Data bahan material meliputi :
 - Mutu beton (f'_c) = 25 MPa
 - Tulangan pokok = BJTP 420
 - Tulangan geser = BJTS 280

D. Bagan Alir

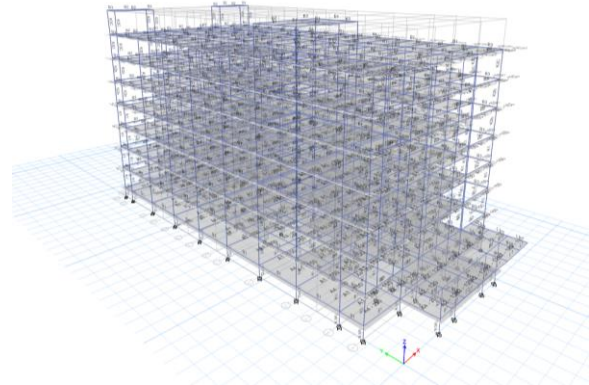


Gambar 7 Bagan alir perencanaan struktur gedung Komposit dan Base Isolator

IV. HASIL DAN ANALISIS DESAIN

Permodelan Struktur

Setelah semua beban di hitung yaitu beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa (statik dan dinamik) dan beban angin, maka selanjutnya struktur bangunan dimodelkan dengan menggunakan software *ETABS*. Hasil analisis dari program *ETABS* berupa gaya geser maksimum, *fundamental time period*, simpangan antar lantai, rasio partisipasi massa, dan gaya-gaya dalam struktur. Data-data tersebut yang nantinya akan digunakan dalam perencanaan struktur gedung dan *Base Isolation System* menggunakan analisa pushover.



Gambar 8 Model 3D Struktur (Fixed Base Modifikasi)

Sistem struktur *base isolator* Data Gedung Rumah Sakit

Perencanaan Base Isolator pada Gedung Rumah Sakit dengan data perencanaan sebagai berikut:

- Mutu Beton, $f'c$ = 30 MPa
- Panjang Gedung, L = 69 m
- Lebar Gedung, B = 32 m
- Tinggi Total = 38 m
- Tinggi antar lantai
Lantai Service = 2 m
Lantai Dasar = 4,5 m
- Dimensi Balok :

Keterangan	BALOK S1 (700.400)	BALOK B1 (600.400)	BALOK B3 (400.250)	BALOK B4 (500.300)
Penampang				
Tulangan atas	12D19	12D19	6D19	7D19
Tulangan bawah	8D19	8D19	5D19	5D19
Tulangan tengah	6D19	6D19	2D19	4D19
Sengkang	4D10-100	4D10-100	3D10-100	3D10-100

Gambar 9 Rencana penampang kolom

g) Dimensi Kolom :

Keterangan	KOLOM (KPD) 1200.1200	KOLOM (K1) 700.700	KOLOM (K2B) 500.500	KOLOM (K3C) 400.400
Penampang				
Tulangan	48D32	28D28	20D22	20D16
Sengkang	6Ø8-200	4Ø8-200	4Ø8-150	3Ø8-150

Gambar 10 Rencana penampang balok

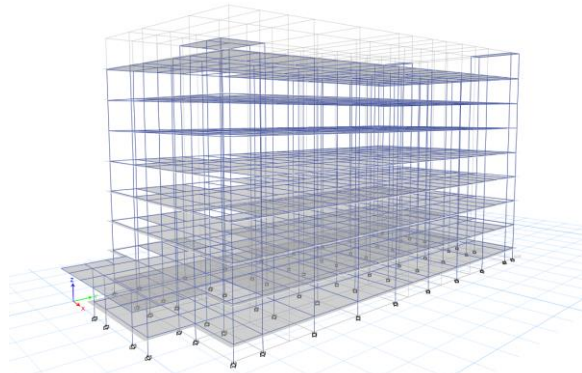
h) Dimensi pelat :

Tabel 2 Data pelat gedung

No	Type	Tebal (mm)	Tulangan (mm)
1	A1	150	D10 - 150
2	A2	120	D10 - 150
3	A3	150	D10 - 100
4	A4	250	D13 - 150

Hasil Analisa Struktur

Hasil Analisis Struktur (Fixed Base Modifikasi)



Gambar 11 Analisis Struktur Modifikasi Fixed Base

1) Kontrol waktu getar alami

Dari hasil analisis ETABS diperoleh nilai waktu getar struktur dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Perhitungan selisih periode

Mode	Period	Selisih
	sec	
1	1,511	0
2	1,464	0,047
3	1,324	0,14
4	0,556	0,768
5	0,549	0,007

2) Kontrol syarat translasi

Tabel 4 Modal direction factor

Case	Mode	Period	UX	UY	RZ	Nilai	Ket.
		sec					
Modal	1	1,511	100%	0%	0%	100%	Translasi
Modal	2	1,464	0%	100%	0%	100%	Translasi
Modal	3	1,324	0%	0%	99%	99%	Rotasi

Pada tabel 4 menunjukkan dominasi mode 1 dan mode 2 dominan terjadi translasi dimana pada mode 1 dominan UX = 100% dan pada mode 2 UX = 100%, dan pada mode ke-3 terjadi rotasi sebesar RZ = 99%.

3) Kontrol story drift

Berdasarkan hasil analisis ETABS, pada bagian atas setiap tingkat didapatkan nilai *drift* seperti yang tertera pada tabel 5.

Tabel 5 Story drift

Story	Ketinggian	Location	δe_x (mm)	δe_y (mm)
	(m)			
Story9	4,5	Top	48,662	41,349
Story8	4,5	Top	46,614	38,669
Story7	4,5	Top	41,141	33,94
Story6	4,5	Top	35,209	28,867
Story5	4,5	Top	27,309	22,163
Story4	4,5	Top	20,482	16,541
Story3	4,5	Top	12,911	10,322
Story2	4,5	Top	5,305	4,168
Story1	2	Top	0,299	0,245
Base	0	Top	0	0

SNI 1726:2019, parameter yang digunakan dalam menghitung perpindahan antar tingkat sebagai berikut:

- perpindahan antar tingkat izin, Δ_a
= 0,010 h
- Faktor redundansi, ρ
= 1,3
- Faktor pembesaran defleksi, C_d
= 5,5
- Faktor keutamaan gempa, I_e
= 1,5
- Story drift inelastik izin, Δ_a
= $\Delta / \rho = 0,010h / 1,3 = 0,0077$ h

a) Perhitungan Selisih perpindahan (*Elastic Drift*)

$$\begin{aligned} \text{Arah x} &= \delta e_{x \text{ story9}} - \delta e_{x \text{ story8}} \\ &= 48,662 - 46,614 \\ &= 2,048 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah y} &= \delta e_{y \text{ story9}} - \delta e_{y \text{ story8}} \\ &= 41,349 - 38,669 \\ &= 2,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Perhitungan *Story Drift Inelastic*, Δ

$$\begin{aligned} \text{Arah x, } \Delta x &= \frac{\delta e_x \times C_d}{I_e} \\ &= \frac{2,048 \times 5,5}{1,5} \\ &= 7,509 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah y, } \Delta y &= \frac{\delta e_y \times C_d}{I_e} \\ &= \frac{2,68 \times 5,5}{1,5} \\ &= 9,827 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan

c) Perhitungan *Drift Limit*

Perhitungan ini menggunakan rumus *story drift inelastic* izin, yang mana nantinya bila *drift* arah X dan arah Y melebihi nilai *drift inelastic* yang diizinkan.

$$\begin{aligned} \text{Story}_9 &= 0,0077 h \\ &= 0,0077 \times 4500 \text{ mm} \\ &= 34,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

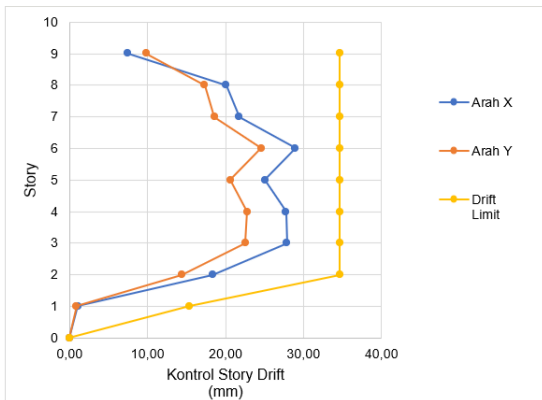
Perhitungan selanjutnya ditabelkan

Tabel 6 Kontrol story drift arah X

Lantai	Story	h (m)	Story drift,	Elastic Drift,	Inelastic	Drift	Ket
			δ_{ex} (mm)	δ_{ex} (mm)	Drift, Δ_x (mm)		
Atap 2	9	4,5	85,181	2,048	7,509	34,65	OK
Atap 1	8	4,5	84,73	5,473	20,068	34,65	OK
Lt. 7	7	4,5	82,122	5,932	21,751	34,65	OK
Lt. 6	6	4,5	78,995	7,9	28,967	34,65	OK
Lt. 5	5	4,5	74,501	6,827	25,032	34,65	OK
Lt. 4	4	4,5	70,362	7,571	27,760	34,65	OK
Lt. 3	3	4,5	65,538	7,606	27,889	34,65	OK
Lt. 2	2	4,5	60,29	5,006	18,355	34,65	OK
Lt. Dasar	1	2	55,835	0,299	1,096	15,4	OK
Base	0	0	54,269	0	0,000	0,00	OK

Tabel 7 Kontrol story drift arah Y

Lantai	Story	h (m)	Displacement,	Elastic Drift,	Inelastic	Drift	Ket
			δ_{ey} (mm)	δ_{ey} (mm)	Drift, Δ_y (mm)		
Atap 2	9	4,5	65,55	2,68	9,827	34,65	OK
Atap 1	8	4,5	64,542	4,729	17,340	34,65	OK
Lt. 7	7	4,5	62,456	5,073	18,601	34,65	OK
Lt. 6	6	4,5	60,002	6,704	24,581	34,65	OK
Lt. 5	5	4,5	56,522	5,622	20,614	34,65	OK
Lt. 4	4	4,5	53,419	6,219	22,803	34,65	OK
Lt. 3	3	4,5	49,808	6,154	22,565	34,65	OK
Lt. 2	2	4,5	45,907	3,923	14,384	34,65	OK
Lt. Dasar	1	2	42,559	0,245	0,898	15,4	OK
Base	0	0	41,5	0	0,000	0,00	OK



Gambar 12 Grafik kontrol story drift

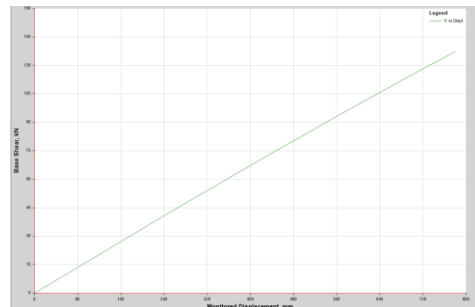
Berdasarkan gambar 12 dan tabel 7, didapatkan nilai perpindahan terbesar yaitu 85,181 mm arah x dan 65,55 mm arah y. Kedua nilai perpindahan tersebut dianggap aman

karena lebih kecil dari nilai perpindahan maksimum yang direncanakan, $D_M > D_E$.

Analisis Pushover
Kurva Kapasitas

a) Kurva kapasitas arah x-x

Dari hasil analisa *pushover* dengan menggunakan software *ETABS* untuk *pushover* arah x-x didapatkan 6 step pola pembebanan dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.

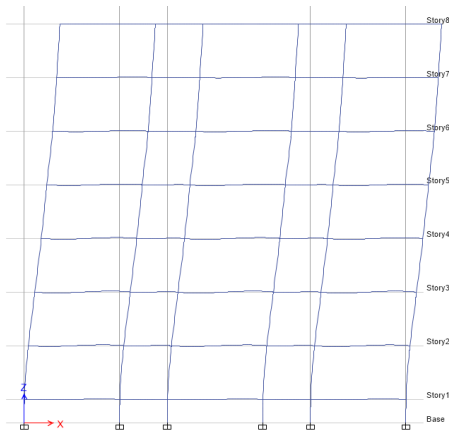


Gambar 13 Kurva kapasitas pushover arah x-x

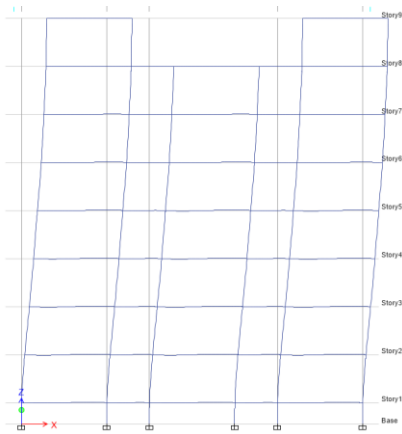
Tabel 8 Output beban dorong arah x-x

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force kN	TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement								Total	
			A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP		>CP
0	0	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	152	25716,4241	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	252,149	42660,4154	3041	3	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	404,905	68050,6974	3010	34	0	0	0	3044	0	0	0	3044
4	562,694	93664,4863	2962	82	0	0	0	3027	7	0	10	3044
5	720,382	118393,3645	2904	140	0	0	0	3012	22	0	10	3044
6	780,005	127310,8625	2852	192	0	0	0	3006	28	0	10	3044

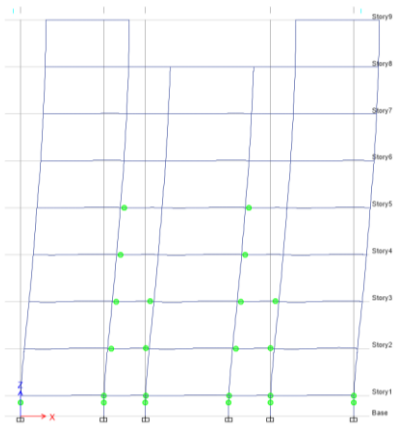
Dari tabel 8 dapat dilihat bahwa elemen struktur belum mengalami plastifikasi pada step 1. Plastifikasi mulai terjadi pada step 2 yang dimana ditandai bahwa elemen berada pada kondisi B-C. Selanjutnya untuk step – step berikutnya plastifikasi elemen struktur mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong hingga elemen struktur mengalami keruntuhan. Untuk pola – pola munculnya sendi plastis pada setiap elemen struktur akibat beban dorong arah x – x dapat dilihat pada gambar 14 s/d 16.



Gambar 14 Pola sendi plastis *pushover* step 1 arah x-x

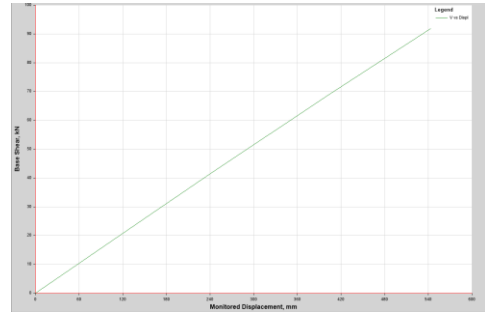


Gambar 15 Pola sendi plastis *pushover* step 2 arah x-x



Gambar 16 Pola sendi plastis *pushover* step 6 arah x-x

pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.

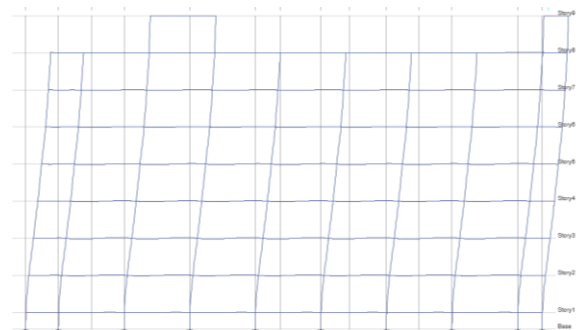


Gambar 17 Kurva kapasitas *pushover* arah y

Tabel 9 Output beban dorong arah y-y

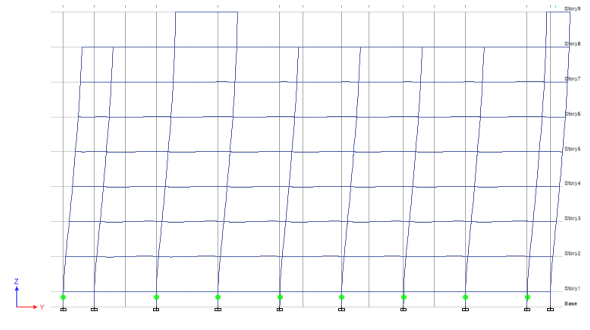
TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	152	26233.9734	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	241.757	41725.2619	3042	2	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	403.815	69062.5566	2992	52	0	0	0	3036	0	0	8	3044
4	543.289	91881.9831	2866	78	0	0	0	3033	2	0	9	3044

Dari tabel 9 dapat dilihat bahwa elemen struktur belum mengalami plastifikasi pada step 1. Plastifikasi mulai terjadi pada step 2 yang ditandai bahwa elemen berada pada kondisi B-C. Selanjutnya untuk step – step berikutnya plastifikasi elemen struktur mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong hingga elemen struktur mengalami keruntuhan. Untuk pola – pola munculnya sendi plastis pada setiap elemen struktur akibat beban dorong arah y – y dapat dilihat pada gambar 18 s/d 20.

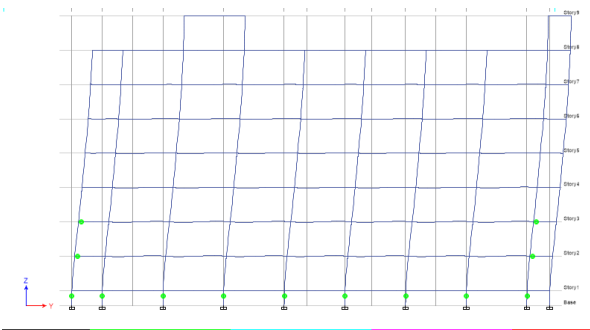


Gambar 18 Pola sendi *pushover* step 1 arah y-y

- b) Kurva kapasitas arah y-y
Untuk kurva kapasitas arah y-y didapatkan 11 step pola pembebanan dorong yang diberikan



Gambar 19 Pola sendi *pushover* step 2 arah y-y



Gambar 20 Pola sendi plastis *pushover* step 4 arah y-y

Berdasarkan gambar pola sendi plastis untuk arah y-y diatas, dapat dilihat bahwa sendi plastis mulai terbentuk pada step 2 dan bertahap meningkat seiring dengan peningkatan beban dorong yang diberikan struktur.

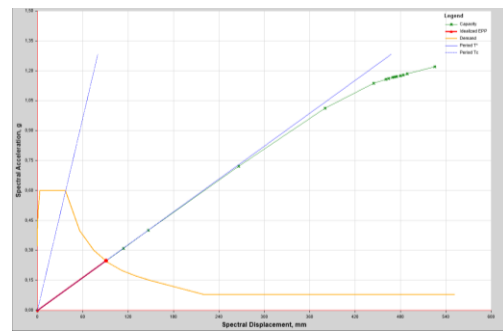
Menentukan Level Kinerja

a) Metode spektrum kapasitas ATC-40

Batas Simpangan Antar Lantai	Level Kinerja Struktur			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	No Limit	No Limit

Metode spektrum kapasitas ini secara khusus telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva kapasitas ke format *ADRS* dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Kurva spektrum kapasitas arah X dan Y yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Arah X



Gambar 21 Kurva spektrum kapasitas arah x

Pada Gambar 21 gaya geser dasar yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva *capacity* dan kurva *demand* sebesar 21608,537 kN dengan *displacement* 121,678 mm. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung masih dalam batas kinerja desain gempa yang direncanakan yaitu *Immediate Occupancy (IO)*. Apabila kurva tersebut tidak berpotongan, maka struktur gedung tidak berada dalam batas desain gempa rencana. Kurva *capacity* merupakan kurva kapasitas yang diplotkan ke dalam format *ADRS*. Sedangkan kurva *demand family* merupakan kurva spektral respon desain yang sudah dikerjakan otomatis oleh program dengan memasukkan gempa respon spektrum yang telah dikerjakan sebelumnya.

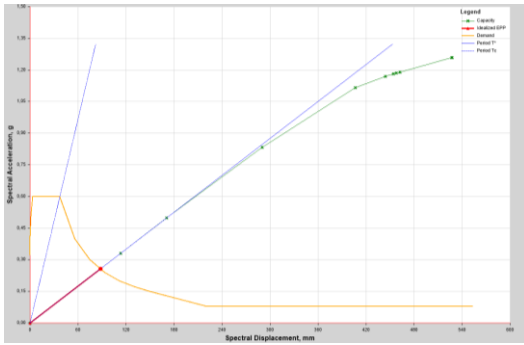
Tabel 10 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah x

Vx (kN)	Displ (mm)	Sa (g)	Sd (mm)
21608,537	121,678	0,249	90,864

Dari parameter pada tabel 10, didapatkan ratio *drift* arah X yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah X} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{121,678}{38000} = 0,0032$$

2. Arah Y



Gambar 22 Kurva spektrum kapasitas y
 Pada Gambar 22 di atas gaya lateral yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva *capacity* dan kurva *demand family* sebesar 22400,1654 kN dengan *displacement* 118,782 mm. Pada spektrum kapasitas arah Y masih berada dalam batas desain gempa rencana.

Tabel 11 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah y

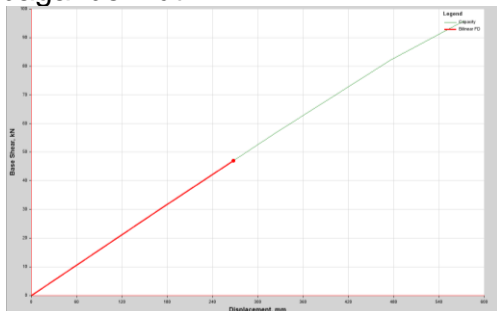
<u>V_y</u> (kN)	<u>Disp</u> (mm)	<u>S_a</u> (g)	<u>S_d</u> (mm)
22400,1654	118,782	0,258	88,425

Dari parameter pada tabel 11, didapatkan ratio *drift* arah Y yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah Y} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{118,782}{38000} = 0,00312$$

b) Metode FEMA 356

Untuk menentukan level kinerja struktur digunakan *FEMA 356* diambil contoh perhitungan untuk arah x-x dengan membuat kurva idealisasi bilinear (kurva biner *pushover*). Dengan bantuan software *ETABS* dapat diketahui parameter dan bentuk kurva bilinear, yaitu sebagai berikut:



Gambar 23 Kurva kapasitas bilinear arah x

Dari kurva bilinear *pushover* didapatkan didapatkan parameter yaitu:

$$\begin{aligned} K_i &= 176456,523 \text{ kN/m} \\ V_y &= 30110,3646 \text{ kN} \\ T_i &= 1,272 \text{ detik} \\ K_e &= 176456,523 \text{ kN/m} \\ S_a &= 0,502082 \end{aligned}$$

Dengan parameter diatas maka dapat dihitung nilai target perpindahan dengan dasar kurva idealisasi dari *pushover analisis*. Tahapan perhitungan target perpindahan sesuai *FEMA 356* sebagai berikut:

- Mengitung periode efektif struktur:

$$\begin{aligned} T_e &= T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \\ &= 1,272 \sqrt{\frac{176456,523}{176456,523}} \\ &= 1,272 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Menentukan nilai C_0
 Nilai C_0 ditentukan berdasarkan tabel 3-2 *FEMA 356* dan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 12 Faktor modifikasi C_0 *FEMA 356*

Number of stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
 2. Building in which, for all stories, *intensity* drift decreases with increasing height.

Maka digunakan nilai $C_0 = 1.5$, berdasarkan tabel 12 untuk bangunan 5 lantai.

- Menentukan nilai C_1
 Jika $T_e > T_s$, maka $C_1 = 1$
 Jika $T_e < T_s$, maka $C_1 = \frac{1 + \frac{(R-1)T_s}{T_e}}{R}$
 Nilai $T_e = 1,272$, $T_s = 0,679 \rightarrow T_e > T_s$, maka nilai $C_1 = 1$
- Menentukan nilai C_2
 Nilai C_2 ditentukan berdasarkan tabel 3-3 *FEMA 356* yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 13 Faktor modifikasi C_2 *FEMA 356*

Structural Performance Level	$T \leq 0.1$ second ³		$T \leq T_s$ second ³	
	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ¹	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ¹
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
3Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically braced frames, diaphragms with partially-restrained connections-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical piers, and spans/ends of reinforced concrete or masonry.
 2. all frame not assigned to Framing Type 1.
 3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T.

Dari tabel 13 maka dapat ditentukan bahwa nilai level kinerja desain adalah *Life Safety* dengan nilai $T_e > T_s$, dan digunakan type 2 sehingga $C_2 = 1$

- Nilai C3 = 1 (kekakuan pasca leleh adalah positif)
- Menghitung target perpindahan

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4 \pi^2} g \\ &= 1,5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,502082 \times \frac{1,272^2}{4 \pi^2} \times 9,81 \\ &= 0,302 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Drift* aktual

$$\begin{aligned} &= \delta_T / H_{tot} \\ &= 0,302 / 38 \\ &= 0,007 \rightarrow \text{Immediate occupancy} \end{aligned}$$

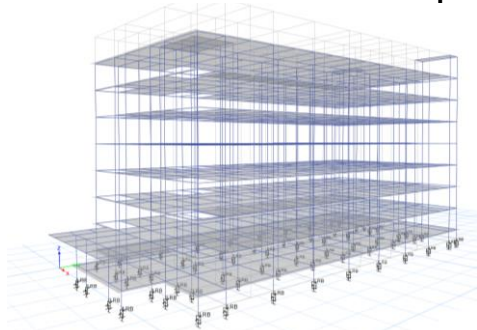
Untuk arah y-y dihitung juga terlebih dahulu parameteranya, dicek di tabel FEMA 356. Secara keseluruhan sama dengan perhitungan arah x-x diatas untuk dapat menentukan target perpindahannya. Berikut parameter dan hasil target perpindahan untuk arah y-y:

Tabel 14 Rekap performance level desain dan hasil analisa

Arah	Parameter	Analisa (ATC 40)	Analisa (FEMA 356)
Arah x-x	Target <u>perpindahan</u> (m)	0,1216	0,302
	<u>Drift aktual</u>	0,0032	0,007
	Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Arah y-y	Target <u>perpindahan</u> (m)	0,1187	0,453
	<u>Drift aktual</u>	0,0031	0,012
	Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>

Dari tabel 14 dapat dilihat bahwa untuk hasil analisa *pushover* FEMA 356 memiliki level kinerja *immediate Occupancy* di arah X dan *Damage Control* di arah Y. Dan untuk hasil analisa menggunakan evaluasi ATC 40 berada dilevel *immediate Occupancy*.

Hasil Analisa Struktur Base Isolator Tipe LRB



Gambar 24 Analisa Struktur Base Isolator Tipe LRB

- 1) Kontrol periode

Pada SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.3 menyatakan struktur gedung yang mempunyai getar alami kurang dari 15% harus menggunakan CQC, jika melebihi 15% menggunakan SRSS. Dari hasil analisis ETABS diperoleh nilai waktu getar struktur dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15 Perhitungan selisih periode

Mode	Period	<u>Selisih</u>
	sec	
1	2,887	0,00
2	2,852	0,035
3	2,45	0,402
4	0,889	1,561
5	0,87	0,019

- 2) Kontrol syarat translasi

Dari proses analisis ETABS yang telah dilakukan, berdasarkan SNI 1726:2019, bahwa mode 1 dan mode 2 berupa translasi arah x dan arah y untuk menghindari torsi yang besar.

Tabel 16 Modal direction factor

Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Nilai	Ket.
Modal	1	2,887	96%	0%	4%	96%	<u>Translasi</u>
Modal	2	2,852	0%	100%	0%	100%	<u>Translasi</u>
Modal	3	2,45	4%	0%	96%	96%	<u>Rotasi</u>

Pada tabel 16 menunjukkan dominasi mode 1 dan mode 2 dominan terjadi translasi dimana pada mode 1 dominan UY = 96% dan pada mode 2 UX= 100%, dan pada mode ke-3 terjadi rotasi sebesar RZ = 96%.

- 3) Kontrol story drift

Berdasarkan hasil analisis ETABS, pada bagian atas setiap tingkat didapatkan nilai *drift* seperti yang tertera pada tabel berikut:

Tabel 17 Story drift

Story	Ketinggian (m)	Location	δe_x (mm)	δe_y (mm)
Story9	4,5	Top	85,181	65,55
Story8	4,5	Top	84,73	64,542
Story7	4,5	Top	82,122	62,456
Story6	4,5	Top	78,995	60,002
Story5	4,5	Top	74,501	56,522
Story4	4,5	Top	70,362	53,419
Story3	4,5	Top	65,538	49,808
Story2	4,5	Top	60,29	45,907
Story1	2	Top	55,835	42,559
Base	0	Top	54,269	41,5

SNI 1726:2019, parameter yang digunakan dalam menghitung perpindahan antar tingkat sebagai berikut:

- Perpindahan antar tingkat izin, $\Delta_a = 0,010 h$
- Faktor redundansi, $\rho = 1,3$
- Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 5,5$
- Faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,5$
- Story drift inelastik izin, $\Delta_a = \Delta / \rho = 0,010h / 1,3 = 0,0077 h$

a) Perhitungan Selisih perpindahan (Elastic Drift)

$$\begin{aligned} \text{Arah x} &= \delta e_{X \text{ story9}} - \delta e_{X \text{ story8}} \\ &= 85,181 - 84,73 \\ &= 0,451 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah y} &= \delta e_{Y \text{ story9}} - \delta e_{Y \text{ story8}} \\ &= 65,55 - 64,542 \\ &= 1,008 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Perhitungan Story Drift Inelastic, Δ

$$\begin{aligned} \text{Arah x, } \Delta x &= \frac{\delta e_x \times C_d}{\frac{I_e}{1,5} \times 5,5} \\ &= \frac{0,451 \times 5,5}{1,5} \\ &= 1,653 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah y, } \Delta y &= \frac{\delta e_y \times C_d}{\frac{I_e}{1,5} \times 5,5} \\ &= \frac{1,008 \times 5,5}{1,5} \\ &= 3,696 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan

c) Perhitungan Drift Limit

Perhitungan ini menggunakan rumus story drift inelastic izin, yang mana nantinya bila drift arah X dan arah Y melebihi nilai drift inelastic yang diizinkan.

$$\begin{aligned} \text{Story9} &= 0,0077 h \\ &= 0,0077 \times 4500 \text{ mm} \\ &= 34,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

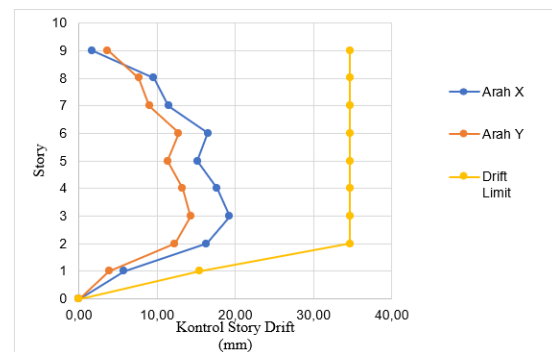
Perhitungan selanjutnya ditabelkan

Tabel 18 Kontrol story drift arah X

Lantai	Story	h (m)	Story Drift,	Elastic Drift,	Inelastic	Drift Limit (mm)	Ket
			δe_x (mm)	δe_x (mm)	Drift, Δ_x (mm)		
Atap 2	9	4,5	85,181	0,451	1,653	34,65	OK
Atap 1	8	4,5	84,73	2,608	9,562	34,65	OK
Lt. 7	7	4,5	82,122	3,127	11,465	34,65	OK
Lt. 6	6	4,5	78,995	4,494	16,478	34,65	OK
Lt. 5	5	4,5	74,501	4,139	15,176	34,65	OK
Lt. 4	4	4,5	70,362	4,824	17,688	34,65	OK
Lt. 3	3	4,5	65,538	5,248	19,242	34,65	OK
Lt. 2	2	4,5	60,29	4,455	16,335	34,65	OK
Lt. Dsr	1	2	55,835	1,566	5,742	15,4	OK
Base	0	0	54,269	0,000	0,000	0,00	OK

Tabel 19 Kontrol story drift arah Y

Lantai	Story	h (m)	Displacement,	Elastic Drift,	Inelastic	Drift Limit (mm)	Ket
			δe_y (mm)	δe_y (mm)	Drift, Δ_y (mm)		
Atap 2	9	4,5	65,55	1,008	3,696	34,65	OK
Atap 1	8	4,5	64,542	2,086	7,648	34,65	OK
Lt. 7	7	4,5	62,456	2,454	8,998	34,65	OK
Lt. 6	6	4,5	60,002	3,48	12,76	34,65	OK
Lt. 5	5	4,5	56,522	3,103	11,377	34,65	OK
Lt. 4	4	4,5	53,419	3,611	13,240	34,65	OK
Lt. 3	3	4,5	49,808	3,901	14,303	34,65	OK
Lt. 2	2	4,5	45,907	3,348	12,276	34,65	OK
Lt. Dsr	1	2	42,559	1,059	3,883	15,4	OK
Base	0	0	41,5	0,000	0,000	0,00	OK



Gambar 25 Grafik kontrol story drift

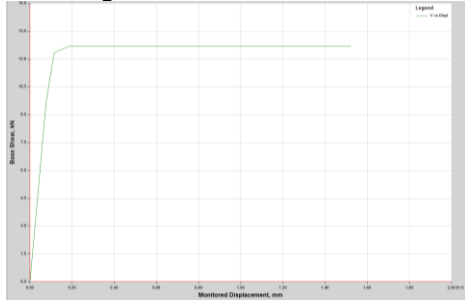
Berdasarkan gambar 25 dan tabel 18-19, didapatkan nilai perpindahan terbesar yaitu 127.952 mm arah x dan 140.900 mm arah y. Kedua nilai perpindahan tersebut dianggap aman karena lebih kecil dari nilai perpindahan maksimum yang direncanakan, $D_M > D_E$.

Analisis Pushover Kurva Kapasitas

a) Kurva kapasitas arah x-x

Pada analisa menggunakan struktur base isolator tipe LRB untuk pushover arah X dan Y

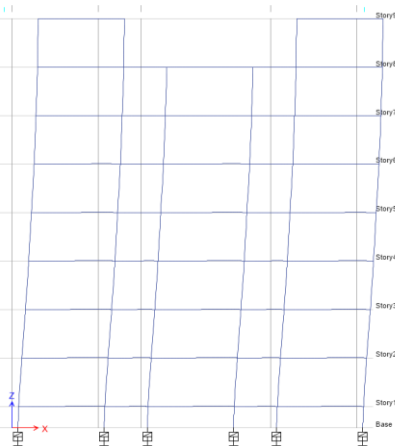
tidak terjadi sendi plastis pada balok dan kolom dikarenakan beban gempa yang terjadi direduksi oleh base isolator tersebut sehingga struktur bangunan utama tidak menerima gaya gempa secara langsung. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.



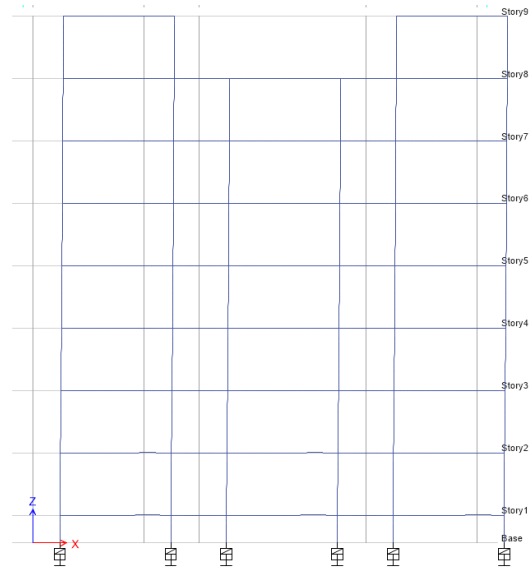
Gambar 26 Kurva kapasitas *pushover* arah x-x
Tabel 20 Output beban dorong arah x-x

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Disp	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CF	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	76	9678,7948	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	113,987	12353,132	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	188,831	12695,587	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
4	263,983	12696,996	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
5	339,152	12697,004	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
6	414,323	12697,004	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
7	489,493	12697,004	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
8	564,663	12697,001	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
9	639,834	12697,001	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
10	865,345	12697,001	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
11	940,515	12697,001	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
12	1015,686	12697	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
13	1241,197	12697	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
14	1391,537	12697	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
15	1455,421	12697	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
16	1519,642	12697	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
17	1520	12696,995	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044

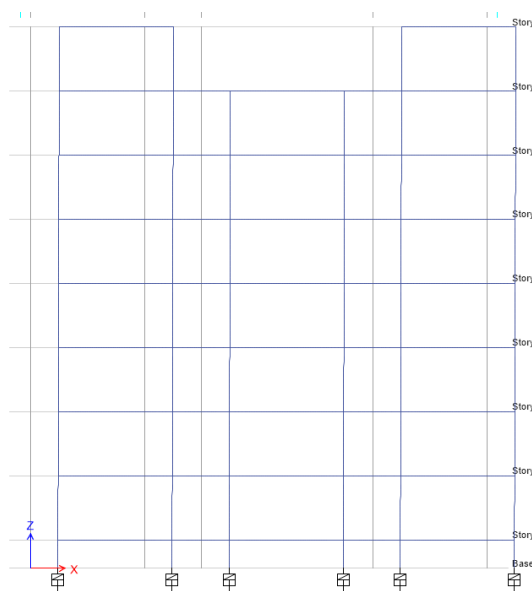
Dari tabel 20 dapat dilihat bahwa elemen struktur menggunakan base isolator tipe LRB tidak mengalami plastifikasi. Untuk pola sendi plastis pada setiap elemen struktur akibat beban dorong arah x – x dapat dilihat pada gambar 27 s/d 29.



Gambar 27 Pola sendi plastis *pushover* step 1 arah x-x



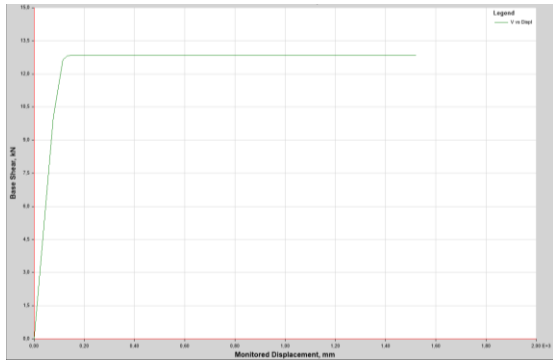
Gambar 28 Pola sendi plastis *pushover* step 8 arah x-x



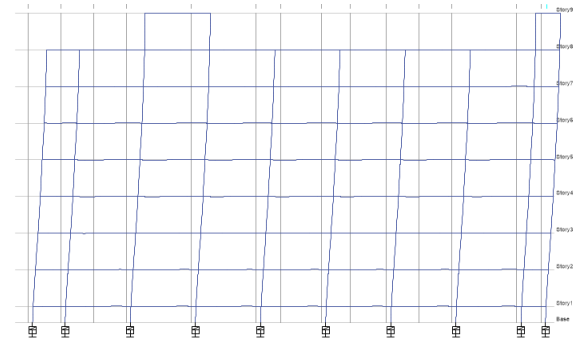
Gambar 29 Pola sendi plastis *pushover* step 17 arah x-x

b) Kurva kapasitas arah y-y

Untuk kurva kapasitas arah y-y didapatkan 55 step pola pembebanan dorong yang diberikan pada struktur tetapi struktur tidak mengalami keruntuhan. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.



Gambar 30 Kurva kapasitas pushover arah y

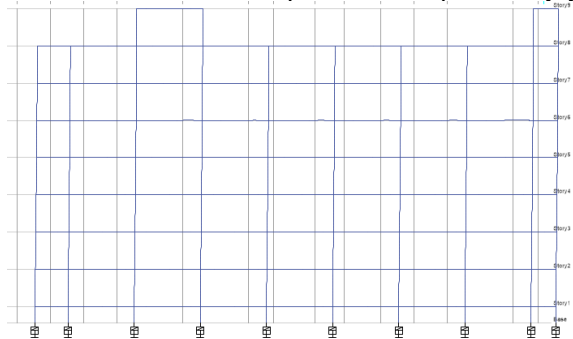


Gambar 31 Pola sendi pushover step 1 arah y-y

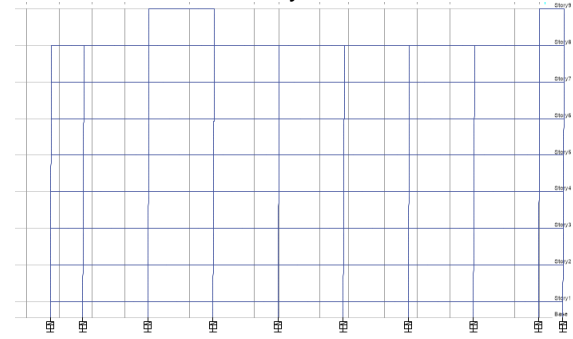
Tabel 21 Output beban dorong arah y-y

Step	Monitored Disp mm	Base Force kN	TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement										
			A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total	
0	0	0	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	76	10047.5073	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	113.999	12643.4977	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	132.999	12827.9653	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
4	151.999	12850.143	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
5	170.999	12852.5324	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
6	189.999	12852.7865	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
7	208.999	12852.8136	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
8	227.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
9	246.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
10	265.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
11	284.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
12	303.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
13	322.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
14	341.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
15	360.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
16	379.999	12852.8155	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
17	398.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
18	417.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
19	436.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
20	474.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
21	531.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
22	550.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
23	569.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
24	588.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
25	607.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
26	645.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
27	664.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
28	683.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
29	702.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
30	721.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
31	797.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
32	816.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
33	835.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
34	854.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
35	873.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
36	911.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
37	930.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
38	949.999	12852.8153	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
39	968.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
40	1120.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
41	1139.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
42	1158.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
43	1177.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
44	1196.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
45	1215.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
46	1272.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
47	1291.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
48	1310.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
49	1348.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
50	1367.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
51	1405.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
52	1443.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
53	1462.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
54	1500.999	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
55	1530	12852.8152	3044	0	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044

Dari tabel 21 dapat dilihat bahwa elemen struktur menggunakan base isolator tipe LRB pada arah y-y tidak mengalami plastifikasi. Untuk pola sendi plastis pada setiap elemen struktur akibat beban dorong dapat dilihat pada gambar 31 s/d 33:



Gambar 32 Pola sendi pushover step 25 arah y-y



Gambar 33 Pola sendi plastis pushover step 11 arah y-y

Menentukan Level Kinerja

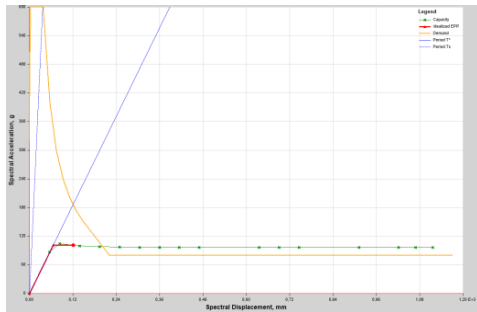
a) Metode spektrum kapasitas ATC-40
Level kinerja ditentukan berdasarkan table 5.5.4 (ATC-40)

Batas Simpangan Antar Lantai	Level Kinerja Struktur			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	No Limit	No Limit

Metode spektrum kapasitas ini secara khusus telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva kapasitas ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Kurva

spektrum kapasitas arah X dan Y yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Arah X



Gambar 34 Kurva spektrum kapasitas arah x

Pada Gambar 34 gaya geser dasar yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva *capacity* dan kurva *demand* sebesar 12585,9828 kN dengan *displacement* 164,877 mm. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung masih dalam batas kinerja desain gempa yang direncanakan yaitu *Immediate Occupancy (IO)*. Apabila kurva tersebut tidak berpotongan, maka struktur gedung tidak berada dalam batas desain gempa rencana. Kurva *capacity* merupakan kurva kapasitas yang diplotkan ke dalam format ADRS. Sedangkan kurva *demand family* merupakan kurva spektral respon desain yang sudah dikerjakan otomatis oleh program dengan memasukkan gempa respon spektrum yang telah dikerjakan sebelumnya.

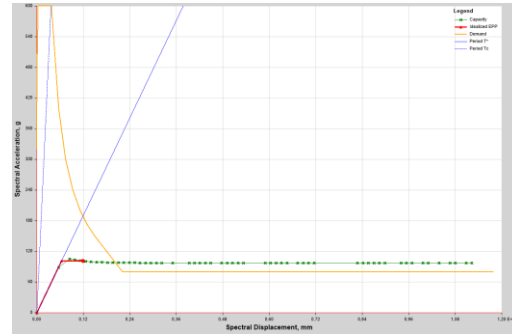
Tabel 22 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah x

Vx (kN)	Displ (mm)	Sa (g)	Sd (mm)
12585,9828	164,877	0,187	121,1

Dari parameter pada tabel 22, didapatkan ratio *drift* arah X yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah X} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{164,877}{38000} = 0,0043$$

2. Arah Y



Gambar 35 Kurva spektrum kapasitas arah y

Pada Gambar 35 gaya lateral yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva *capacity* dan kurva *demand family* sebesar 12851,3523 kN dengan *displacement* 161,615 mm. Pada spektrum kapasitas arah Y masih berada dalam batas desain gempa rencana.

Tabel 23 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah y

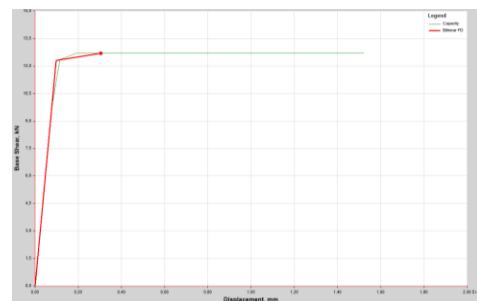
Vy (kN)	Disp (mm)	Sa (g)	Sd (mm)
12851,3523	161,615	0,189	119,352

Dari parameter pada tabel 23, didapatkan ratio *drift* arah Y yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah Y} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{161,615}{38000} = 0,0042$$

b) Metode FEMA 356

Untuk menentukan level kinerja struktur digunakan *FEMA 356* diambil contoh perhitungan untuk arah x-x dengan membuat kurva idealisasi bilinear (kurva biner *pushover*). Dengan bantuan software *ETABS* dapat diketahui parameter dan bentuk kurva bilinear, yaitu sebagai berikut:



Gambar 36 Kurva kapasitas bilinear arah x

Dari kurva bilinear *pushover* didapatkan parameter yaitu:

$$K_i = 127352,563 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 V_y &= 12294,9118 \text{ kN} \\
 T_i &= 1,609 \text{ detik} \\
 K_e &= 127352,563 \text{ kN/m} \\
 S_a &= 0,396767
 \end{aligned}$$

Dengan parameter diatas maka dapat dihitung nilai target perpindahan dengan dasar kurva idealisasi dari *pushover analisis*. Tahapan perhitungan target perpindahan sesuai *FEMA 356* sebagai berikut:

- Menghitung periode efektif struktur:

$$\begin{aligned}
 T_e &= T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \\
 &= 1,609 \sqrt{\frac{127352,563}{127352,563}} \\
 &= 1,609 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

- Menentukan nilai C_0
 Nilai C_0 ditentukan berdasarkan tabel 3-2 *FEMA 356* dan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 24 Faktor modifikasi C_0 *FEMA 356*

Number of stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
 2. Building in which, for all stories, *intensity* drift decreases with increasing height.

Maka digunakan nilai $C_0 = 1.5$, berdasarkan tabel 24 untuk bangunan 5 lantai.

- Menentukan nilai C_1
 Jika $T_e > T_s$, maka $C_1 = 1$
 Jika $T_e < T_s$, maka $C_1 = \frac{1 + \frac{(R-1)T_s}{T_e}}{R}$
 Nilai $T_e = 1,609$, $T_s = 0,679 \rightarrow T_e > T_s$, maka nilai $C_1 = 1$
- Menentukan nilai C_2
 Nilai C_2 ditentukan berdasarkan tabel 3-3 *FEMA 356* yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 25 Faktor modifikasi C_2 *FEMA 356*

Structural Performance Level	$T \leq 0.1 \text{ second}^3$		$T \leq T_s \text{ second}^3$	
	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ¹	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ¹
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
3Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 50% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.
 2. All frame not assigned to Framing Type 1.
 3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T .

Dari tabel 25 maka dapat ditentukan bahwa nilai level kinerja desain adalah *Life Safety* dengan nilai $T_e > T_s$, dan digunakan type 2 sehingga $C_2 = 1$

- Nilai $C_3 = 1$ (kekakuan pasca leleh adalah positif)
- Menghitung target perpindahan

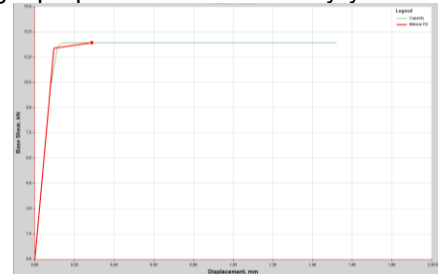
$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4 \pi^2} g$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,396767 \times \\
 &\frac{1,609^2}{4 \pi^2} 9,81 \\
 &= 0,382 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- *Drift* aktual

$$\begin{aligned}
 &= \delta_T / H_{tot} \\
 &= 0,382 / 38 \\
 &= 0,010 \rightarrow \text{Immediate occupancy}
 \end{aligned}$$

Untuk arah y-y dihitung juga terlebih dahulu parameternya, dicek di tabel *FEMA 356*. Secara keseluruhan sama dengan perhitungan arah x-x diatas untuk dapat menentukan target perpindahannya. Berikut parameter dan hasil target perpindahan untuk arah y-y:



Gambar 37 Kurva kapasitas bilinear arah y

$$\begin{aligned}
 K_i &= 132204,044 \text{ kN/m} \\
 V_y &= 12537,5268 \text{ kN} \\
 T_i &= 1,593 \text{ detik} \\
 K_e &= 132204,044 \text{ kN/m} \\
 T_e &= 1,593 \text{ detik} \\
 S_a &= 0,400762 \\
 C_0 &= 1,132096 \\
 C_1 &= 1 \\
 C_2 &= 1 \\
 C_3 &= 1
 \end{aligned}$$

- Menghitung target perpindahan

$$\begin{aligned}
 \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4 \pi^2} g \\
 &= 1,132096 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times \\
 &0,400762 \times \frac{1,593^2}{4 \pi^2} 9,81 \\
 &= 0,286 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- *Drift* aktual

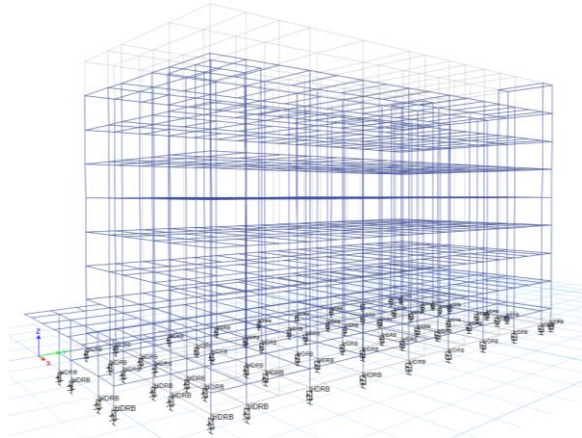
$$\begin{aligned}
 &= \delta_T / H_{tot} \\
 &= 0,286 / 38 \\
 &= 0,007 \rightarrow \text{Immediate occupancy}
 \end{aligned}$$

Tabel 26 Rekap performance level desain dan hasil analisa

Arah	Parameter	Analisa (ATC 40)	Analisa (FEMA 356)
Arah x-x	Target <u>perpindahan</u> (m)	0,164	0,382
	Drift <u>aktual</u>	0,0043	0,010
	Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Arah y-y	Target <u>perpindahan</u> (m)	0,161	0,286
	Drift <u>aktual</u>	0,0042	0,007
	Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

Dari tabel 26 dapat dilihat bahwa pada struktur menggunakan base isolator tipe LRB untuk hasil analisa *pushover* menggunakan metode ATC 40 memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* pada arah x maupun y. Dan untuk hasil analisa menggunakan metode FEMA 356 juga berada dilevel *Immediate Occupancy* pada arah x maupun y.

Hasil Analisa Struktur Base Isolator Tipe HDRB



Gambar 38 Analisis struktur base isolator tipe HDRB

1) Kontrol periode

Dari hasil analisis ETABS diperoleh nilai waktu getar struktur dapat dilihat pada tabel 27.

Tabel 27 Perhitungan selisih periode

Mode	<u>Periode</u> (detik)	<u>Selisih</u> (%)
1	2,773	0,00
2	2,739	0,034
3	2,355	0,384
4	0,881	1,474
5	0,863	0,018

2) Kontrol syarat translasi

Dari proses analisis ETABS yang telah dilakukan, berdasarkan SNI 1726:2019, bahwa mode 1 dan mode 2 berupa translasi arah x dan arah y untuk menghindari torsi yang besar.

Tabel 28 Modal direction factor

Case	Mode	Period	UX	UY	RZ	Nilai	Ket.
		sec					
Modal	1	1.957	96%	0%	4%	96%	<u>Translasi</u>
Modal	2	1.951	0%	100%	0%	100%	<u>Translasi</u>
Modal	3	1.931	4%	0%	96%	96%	<u>Rotasi</u>

Pada tabel 28 menunjukkan dominasi mode 1 dan mode 2 dominan terjadi translasi dimana pada mode 1 dominan UY = 96% dan pada mode 2 UX= 100%, dan pada mode ke-3 terjadi rotasi sebesar RZ = 96%.

3) Kontrol simpangan antar tingkat

Berdasarkan hasil analisis ETABS, pada bagian atas setiap tingkat didapatkan nilai *drift* seperti yang tertera pada tabel berikut:

Tabel 29 Story drift

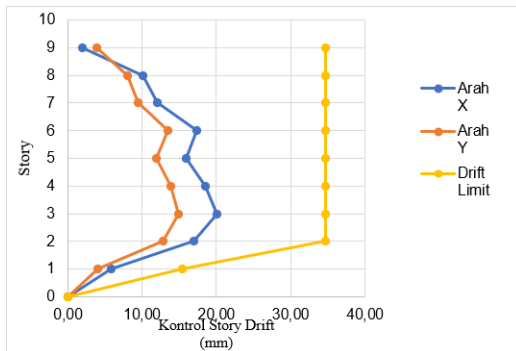
Story	<u>Ketinggian</u> (mm)	Location	<u>δ_{ex}</u> (mm)	<u>δ_{ey}</u> (mm)
Story9	4,5	Top	83,034	63,958
Story8	4,5	Top	82,507	62,877
Story7	4,5	Top	79,746	60,666
Story6	4,5	Top	76,446	58,075
Story5	4,5	Top	71,717	54,412
Story4	4,5	Top	67,377	51,157
Story3	4,5	Top	62,329	47,379
Story2	4,5	Top	56,85	43,306
Story1	2	Top	52,209	39,818
Base	0	Top	50,621	38,727

Tabel 30 Kontrol *story drift* arah X

Lantai	Story	h (m)	Story Drift,	Elastic	Inelastic	Drift Limit (mm)	Ket
			$\delta \epsilon_x$ (mm)	Drift, $\delta \epsilon_x$ (mm)	Drift, A_x (mm)		
Atap 2	6	4,5	83,034	0,527	1,932	34,65	OK
Atap 1	5	4,5	82,507	2,761	10,124	34,65	OK
Lt. 7	4	4,5	79,746	3,3	12,100	34,65	OK
Lt. 6	3	4,5	76,446	4,729	17,340	34,65	OK
Lt. 5	2	4,5	71,717	4,34	15,913	34,65	OK
Lt. 4	1	4,5	67,377	5,048	18,509	34,65	OK
Lt. 3	0	4,5	62,329	5,479	20,090	34,65	OK
Lt. 2	0	4,5	56,85	4,641	17,017	34,65	OK
Lt. Dsr	0	2	52,209	1,588	5,823	15,4	OK
Base	0	0	50,621	0	0	0	OK

Tabel 31 Kontrol *story drift* arah Y

Lantai	Story	h (mm)	Displacement,	Elastic	Inelastic	Drift Limit (mm)	Ket
			$\delta \epsilon_y$ (mm)	Drift, $\delta \epsilon_y$ (mm)	Drift, A_x (mm)		
Atap 2	6	4,5	63,958	1,081	3,964	34,65	OK
Atap 1	5	4,5	62,877	2,211	8,107	34,65	OK
Lt. 7	4	4,5	60,666	2,591	9,500	34,65	OK
Lt. 6	3	4,5	58,075	3,663	13,431	34,65	OK
Lt. 5	2	4,5	54,412	3,255	11,935	34,65	OK
Lt. 4	1	4,5	51,157	3,778	13,853	34,65	OK
Lt. 3	0	4,5	47,379	4,073	14,934	34,65	OK
Lt. 2	0	4,5	43,306	3,488	12,789	34,65	OK
Lt. Dsr	0	2	39,818	1,091	4,000	15,4	OK
Base	0	0	169,135	0,000	0,000	0,000	OK



Gambar 39 Grafik kontrol *story drift*

Berdasarkan gambar 39 dan tabel 30 dan tabel 31, didapatkan nilai perpindahan terbesar yaitu 83,034 mm arah x dan 63,958 mm arah y. Kedua nilai perpindahan tersebut dianggap aman karena lebih kecil dari nilai perpindahan maksimum yang direncanakan, $D_M > D_E$.

Analisis Pushover Kurva Kapasitas

a) Kurva kapasitas arah x-x

Pada analisa menggunakan struktur base isolator tipe HDRB untuk *pushover* arah x-x didapatkan 11 step pola pembebanan dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan.

Tabel 32 Output beban dorong arah x-x

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	152	8930,1333	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	304	17860,2666	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	456	26790,3999	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
4	608	35720,5332	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
5	760	44650,6665	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
6	918,954	48114,2435	3044	3	0	0	0	3044	0	0	0	3044
7	1012,44	59422,2214	3024	20	0	0	0	3043	0	0	1	3044
8	1166,031	68361,1902	3016	28	0	0	0	3043	0	0	1	3044
9	1319,102	77060,4459	2988	56	0	0	0	3043	13	0	15	3044
10	1471,634	85391,5652	2960	84	0	0	0	2989	30	6	19	3044
11	1520	87952,4029	2942	102	0	0	0	2988	29	1	26	3044

Dari tabel 32 dapat dilihat bahwa elemen struktur belum mengalami plastifikasi pada step 1 hingga step 5. Plastifikasi mulai terjadi pada step 6 yang dimana ditandai bahwa elemen berada pada kondisi B-C. Selanjutnya untuk step – step berikutnya plastifikasi elemen struktur mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong hingga elemen struktur mengalami keruntuhan. Kurva kapasitas arah y-y

Untuk kurva kapasitas arah y-y didapatkan 10 step pola pembebanan dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.

Tabel 33 Output beban dorong arah y-y

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	152	9178,1958	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	304	18356,3916	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	456	27534,5873	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
4	569,921	34413,4606	3040	4	0	0	0	3044	0	0	0	3044
5	756,996	45636,7460	3034	10	0	0	0	3044	0	0	0	3044
6	914,391	55108,2132	3032	12	0	0	0	3039	0	0	5	3044
7	1126,533	67834,6548	3026	18	0	0	0	3034	5	0	5	3044
8	1286,258	77288,1503	3001	43	0	0	0	3032	7	0	5	3044
9	1438,576	86096,7151	2941	103	0	0	0	3021	15	0	8	3044
10	1520	90833,6694	2883	161	0	0	0	3007	23	0	14	3044

Dari tabel 33 dapat dilihat bahwa elemen struktur belum mengalami plastifikasi pada step 1 hingga step 3. Plastifikasi mulai terjadi pada step 4 yang dimana ditandai bahwa elemen berada pada kondisi B-C. Selanjutnya untuk step – step berikutnya plastifikasi elemen struktur mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong hingga elemen struktur mengalami keruntuhan.

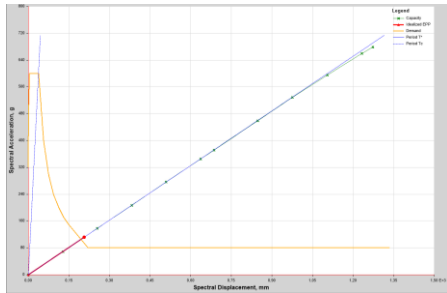
Menentukan Level Kinerja

a) Metode spektrum kapasitas ATC-40

Metode spektrum kapasitas ini secara khusus telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva kapasitas ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program . Kurva

spektrum kapasitas arah X dan Y yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Arah X



Gambar 40 Kurva spektrum kapasitas arah x

Pada Gambar 40 gaya geser dasar yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva *capacity* dan kurva *demand* sebesar 14487,8626 kN dengan *displacement* 246,598 mm. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung masih dalam batas kinerja desain gempa yang direncanakan yaitu *Immediate Occupancy (IO)*. Apabila kurva tersebut tidak berpotongan, maka struktur gedung tidak berada dalam batas desain gempa rencana. Kurva *capacity* merupakan kurva kapasitas yang diplotkan ke dalam format ADRS. Sedangkan kurva *demand family* merupakan kurva spektral respon desain yang sudah dikerjakan otomatis oleh program dengan memasukkan gempa respon spektrum yang telah dikerjakan sebelumnya.

Tabel 34 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah x

V _y (kN)	Disp (mm)	S _a (g)	S _d (mm)
14637,3783	242,409	0,113	205,507

Dari parameter pada tabel 34, didapatkan ratio *drift* arah Y yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah Y} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{242,409}{38000} = 0,0063$$

2. Arah Y

Pada spektrum kapasitas arah Y masih berada dalam batas desain gempa rencana.

Tabel 35 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah y

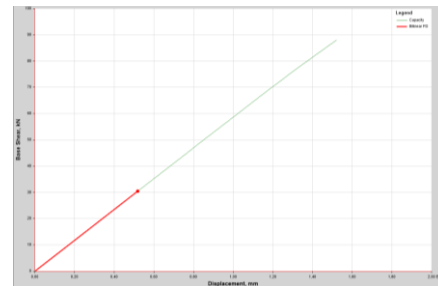
V _y (kN)	Disp (mm)	S _a (g)	S _d (mm)
14637,3783	242,409	0,113	205,507

Dari parameter pada tabel 35, didapatkan ratio *drift* arah Y yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah Y} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{242,409}{38000} = 0,0063$$

b) Metode FEMA 356

Untuk menentukan level kinerja struktur digunakan *FEMA 356* diambil contoh perhitungan untuk arah x-x dengan membuat kurva idealisasi bilinear (kurva biner *pushover*). Dengan bantuan software *ETABS* dapat diketahui parameter dan bentuk kurva bilinear, yaitu sebagai berikut:



Gambar 41 Kurva kapasitas bilinear arah x

Dari kurva bilinear *pushover* didapatkan parameter yaitu:

- K_i = 58750,877 kN/m
- V_y = 7675,4199 kN
- T_i = 2,725 detik
- K_e = 58750,877 kN/m
- S_a = 0,234349

Dengan parameter diatas maka dapat dihitung nilai target perpindahan dengan dasar kurva idealisasi dari *pushover analisis*. Tahapan perhitungan target perpindahan sesuai *FEMA 356* sebagai berikut:

- Mengitung periode efektif struktur:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

$$= 2,725 \sqrt{\frac{58750,877}{58750,877}}$$

$$= 2,725 \text{ detik}$$

- Menentukan nilai C₀
Nilai C₀ ditentukan berdasarkan tabel 3-2 *FEMA 356* dan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 36 Faktor modifikasi C₀ *FEMA 356*

Number of stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
2. Buildings in which, for all stories, seismic drift decreases with increasing height.

Maka digunakan nilai C₀ = 1.5, berdasarkan tabel 36 untuk bangunan 5 lantai.

- Menentukan nilai C₁

Jika $T_e > T_s$, maka $C_1 = 1$

Jika $T_e < T_s$, maka $C_1 = \frac{1 + \frac{(R-1)T_s}{T_e}}{R}$

Nilai $T_e = 2,725$, $T_s = 0,679 \rightarrow T_e > T_s$, maka nilai $C_1 = 1$

- Menentukan nilai C_2

Nilai C_2 ditentukan berdasarkan tabel 3-3 *FEMA 356* yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 37 Faktor modifikasi C_2 *FEMA 356*

Structural Performance Level	$T \leq 0.1$ second ¹		$T \leq T_s$ second ³	
	Framing Type 1 ²	Framing Type 2 ²	Framing Type 1 ²	Framing Type 2 ²
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically braced frames, diaphragms with partially-restrained connections-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.
 2. All frame not assigned to Framing Type 1.
 3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T .

Dari tabel 37 maka dapat ditentukan bahwa nilai level kinerja desain adalah *Life Safety* dengan nilai $T_e > T_s$, dan digunakan type 2 sehingga $C_2 = 1$

- Nilai $C_3 = 1$ (kekakuan pasca leleh adalah positif)
- Menghitung target perpindahan

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4 \pi^2} g \\ &= 1,5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,234349 \times \frac{2,725^2}{4 \pi^2} \times 9,81 \\ &= 0,648 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Drift* aktual

$$\begin{aligned} &= \delta_T / H_{tot} \\ &= 0,648 / 38 \\ &= 0,017 \rightarrow \text{Damage Control} \end{aligned}$$

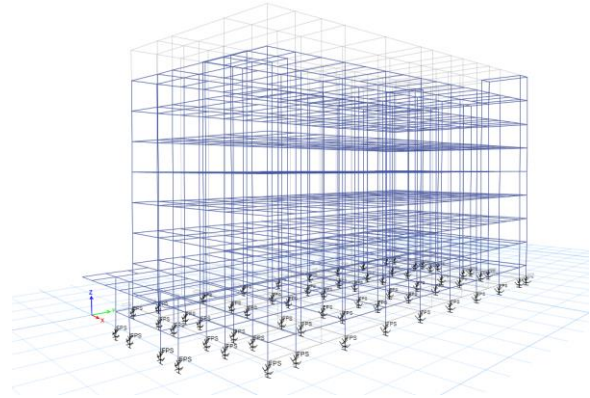
Untuk arah y-y dihitung juga terlebih dahulu parameternya, dicek di tabel *FEMA 356*. Secara keseluruhan sama dengan perhitungan arah x-x diatas untuk dapat menentukan target perpindahannya. Berikut parameter dan hasil target perpindahan untuk arah y-y:

Tabel 38 Rekap performance level desain dan hasil analisa

Arah	Parameter	Analisa (ATC 40)	Analisa (FEMA 356)
Arah x-x	Target perpindahan (m)	0,2465	0,648
	Drift aktual	0,0064	0,017
	Level Kinerja	immediate Occupancy	Damage Control
Arah y-y	Target perpindahan (m)	0,2424	0,506
	Drift aktual	0,0063	0,013
	Level Kinerja	immediate Occupancy	Damage Control

Dari tabel 38 dapat dilihat bahwa pada struktur menggunakan base isolator tipe HDRB untuk hasil analisa *pushover* menggunakan metode *ATC 40* memiliki level kinerja *immediate Occupancy* pada arah X maupun arah Y. Dan untuk hasil analisa menggunakan metode *FEMA 356* berada dilevel *Damage Control* pada arah X maupun arah Y.

Hasil Analisis Struktur Base Isolator Tipe FPS



Gambar 42 Analisis struktur base isolator tipe FPS

- 1) Kontrol periode getar struktur dapat dilihat pada tabel 39.

Tabel 39 Perhitungan selisih periode

Mode	Periode	Selisih
	(detik)	(%)
1	5,079	0,00
2	5,04	0,039
3	4,465	0,575
4	1,093	3,372
5	1,064	0,029

- 2) Kontrol syarat translasi

Dari proses analisis ETABS yang telah dilakukan, berdasarkan SNI 1726:2019, bahwa mode 1 dan mode 2 berupa translasi arah x dan arah y untuk menghindari torsi yang besar.

Tabel 40 Modal direction factor

Case	Mode	Period	UX	UY	RZ	Nilai	Ket.
		sec					
Modal	1	5,079	95%	1%	4%	95%	Translasi
Modal	2	5,04	1%	99%	0%	99%	Translasi
Modal	3	4,465	5%	0%	95%	95%	Rotasi

Pada tabel 40 menunjukkan dominasi mode 1 dan mode 2 dominan terjadi translasi dimana pada mode 1 dominan UY = 95% dan pada mode 2 UX= 99%, dan pada mode ke-3 terjadi rotasi sebesar RZ = 95%.

3) Kontrol simpangan antar tingkat

Berdasarkan hasil analisis ETABS, pada bagian atas setiap tingkat didapatkan nilai *drift* seperti yang tertera pada tabel 41.

Tabel 41 Story drift

Story	Ketinggian	Location	δ_{ex}	δ_{ey}
	(mm)			
Story9	4,5	Top	129,618	101,82
Story8	4,5	Top	129,916	101,469
Story7	4,5	Top	128,634	100,442
Story6	4,5	Top	127,061	99,201
Story5	4,5	Top	124,742	97,395
Story4	4,5	Top	122,558	95,746
Story3	4,5	Top	119,961	93,79
Story2	4,5	Top	117,087	91,642
Story1	2	Top	114,611	89,779
Base	0	Top	113,258	89,087

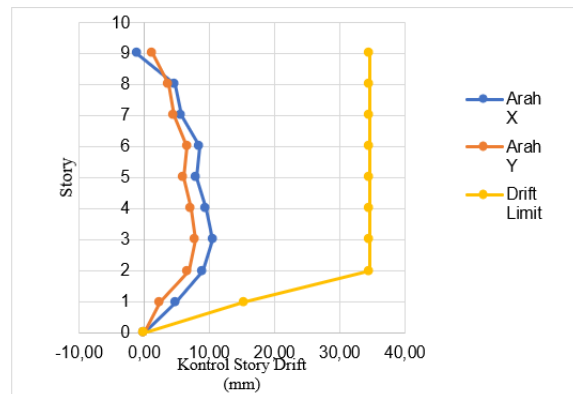
Pada Tabel 20 SNI 1726:2019, parameter yang digunakan dalam menghitung perpindahan antar tingkat sebagai berikut:

Tabel 42 Kontrol story drift arah X

Lantai	Story	h	Story Drift,	Elastic	Inelastic	Drift	Ket
			δ_{ex}	Drift,	Drift, Δ_x		
		(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap 2	6	4,5	129,618	-0,298	-1,093	34,65	OK
Atap 1	5	4,5	129,916	1,282	4,701	34,65	OK
Lt. 7	4	4,5	128,634	1,573	5,768	34,65	OK
Lt. 6	3	4,5	127,061	2,319	8,503	34,65	OK
Lt. 5	2	4,5	124,742	2,184	8,008	34,65	OK
Lt. 4	1	4,5	122,558	2,597	9,522	34,65	OK
Lt. 3	0	4,5	119,961	2,874	10,538	34,65	OK
Lt. 2	0	4,5	117,087	2,476	9,079	34,65	OK
Lt. Dsr	0	2	114,611	1,353	4,961	15,4	OK
Base	0	0	113,258	0	0	0	OK

Tabel 43 Kontrol story drift arah Y

Lantai	Story	h	Displacement,	Elastic	Inelastic	Drift	Ket
			δ_{ey}	Drift,	Drift, Δ_x		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap 2	6	4,5	101,82	0,351	1,287	34,65	OK
Atap 1	5	4,5	101,469	1,027	3,766	34,65	OK
Lt. 7	4	4,5	100,442	1,241	4,550	34,65	OK
Lt. 6	3	4,5	99,201	1,806	6,622	34,65	OK
Lt. 5	2	4,5	97,395	1,649	6,046	34,65	OK
Lt. 4	1	4,5	95,746	1,956	7,172	34,65	OK
Lt. 3	0	4,5	93,79	2,148	7,876	34,65	OK
Lt. 2	0	4,5	91,642	1,863	6,831	34,65	OK
Lt. Dsr	0	2	89,779	0,692	2,537	15,4	OK
Base	0	0	89,087	0	0,000	0,000	OK



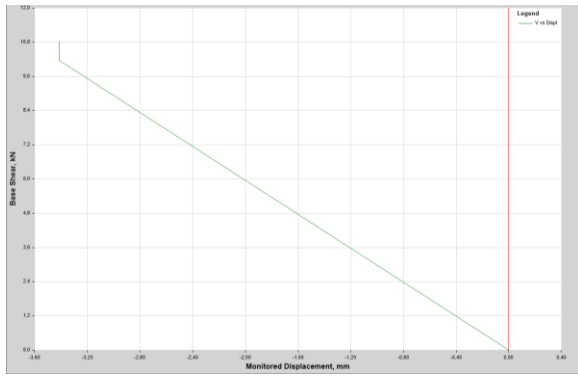
Gambar 43 Grafik kontrol story drift

Berdasarkan gambar 43 dan tabel 42 dan tabel 43, didapatkan nilai perpindahan terbesar yaitu 129,618 mm arah x dan 101,82 mm arah y. Kedua nilai perpindahan tersebut dianggap aman karena lebih kecil dari nilai perpindahan maksimum yang direncanakan, $D_M > D_E$.

Analisa Pushover Kurva Kapasitas

a) Kurva kapasitas arah x-x

Pada analisa menggunakan struktur base isolator tipe FPS untuk *pushover* arah X dan Y tidak terjadi sendi plastis pada balok dan kolom dikarenakan beban gempa yang terjadi direduksi oleh base isolator tersebut sehingga struktur bangunan utama tidak menerima gaya gempa secara langsung. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.



Gambar 44 Kurva kapasitas pushover arah x-x

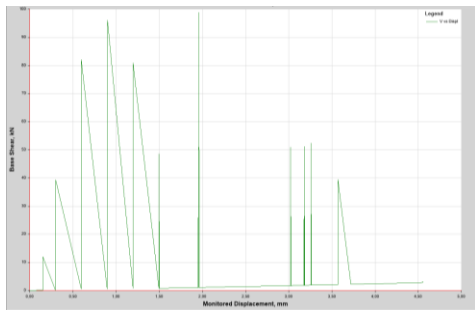
Tabel 44 Output beban dorong arah x-x

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displacement, mm	Base Force, kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	-0.148	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	-3.414	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	-3.414	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044

Dari tabel 44 dapat dilihat bahwa elemen struktur menggunakan base isolator tipe FPS tidak mengalami plastifikasi.

b) Kurva kapasitas arah y-y

Untuk kurva kapasitas arah y-y didapatkan 59 step pola pembebanan dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan. Berikut grafik hubungan gaya vs perpindahan untuk setiap step hasil output beban dorong.



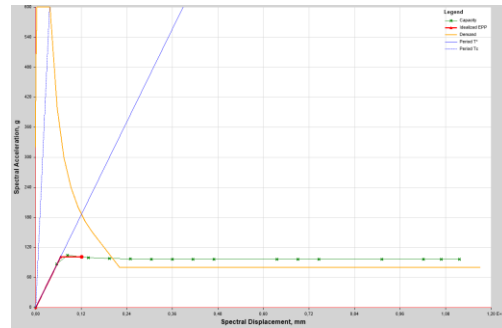
Gambar 45 Kurva kapasitas pushover arah y

Tabel 45 Output beban dorong arah y-y

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displacement, mm	Base Force, kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
1	0.148	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
2	0.149	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
3	0.297	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
4	0.298	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
5	0.595	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
6	0.597	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
7	0.894	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
8	0.895	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
9	0.896	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
10	0.899	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
11	1.196	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
12	1.198	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
13	1.495	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
14	1.496	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
15	1.499	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
16	1.513	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
17	1.57	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
18	1.646	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
19	1.738	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
20	1.95	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
21	1.992	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
22	1.994	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
23	1.997	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
24	1.961	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
25	2.107	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
26	2.411	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
27	2.563	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
28	3.019	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
29	3.02	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
30	3.021	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
31	3.022	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
32	3.025	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
33	3.099	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
34	3.098	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
35	3.176	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
36	3.176	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
37	3.177	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
38	3.178	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
39	3.182	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
40	3.196	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
41	3.216	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
42	3.255	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
43	3.255	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
44	3.256	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
45	3.257	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
46	3.26	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
47	3.265	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
48	3.275	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
49	3.567	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
50	3.567	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
51	3.567	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
52	3.568	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
53	3.72	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
54	4.024	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
55	4.328	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
56	4.404	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
57	4.518	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
58	4.556	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044
59	4.556	0	3044	0	0	0	0	3044	0	0	0	3044

Dari tabel 45 dapat dilihat bahwa elemen struktur menggunakan base isolator tipe FPS pada arah y-y tidak mengalami plastifikasi.

1. Arah X



Gambar 46 Kurva spektrum kapasitas arah x

Pada Gambar 46 di atas gaya geser dasar yang mampu ditahan oleh struktur dapat terlihat pada perpotongan antara kurva capacity dan kurva demand sebesar 16371,8221 kN dengan displacement 252,694 mm. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung masih

dalam batas kinerja desain gempa yang direncanakan yaitu *Immediate Occupancy (IO)*.

Tabel 46 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah x

Vx (kN)	Displ (mm)	Sa (g)	Sd (mm)
14487,8626	252,694	0,142	119,34

Dari parameter pada tabel 46, didapatkan ratio *drift* arah X yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah X} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{252,694}{38000} = 0,0066$$

2. Arah Y

Pada spektrum kapasitas arah Y masih berada dalam batas desain gempa rencana.

Tabel 47 Evaluasi kinerja spektrum kapasitas arah y

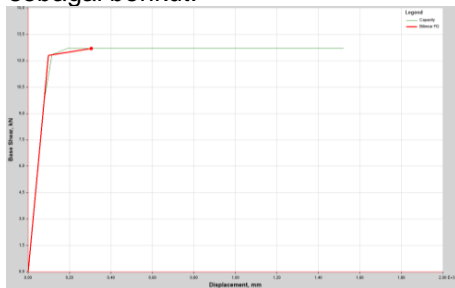
Vy (kN)	Displ (mm)	Sa (g)	Sd (mm)
13762,2613	216,215	0,192	121,428

Dari parameter pada tabel 47, didapatkan ratio *drift* arah Y yang terjadi pada struktur sebagai berikut.

$$\text{ratio drift arah Y} = \frac{DT}{H_{\text{total}}} = \frac{216,215}{38000} = 0,0056$$

a. Metode FEMA 356

Dengan bantuan software *ETABS* dapat diketahui parameter dan bentuk kurva bilinear, yaitu sebagai berikut:



Gambar 47 Kurva kapasitas bilinear arah x

Dari kurva bilinear *pushover* didapatkan parameter yaitu:

$$\begin{aligned} K_i &= 141652,484 \text{ kN/m} \\ V_y &= 13286,5271 \text{ kN} \\ T_i &= 1,914 \text{ detik} \\ K_e &= 141652,484 \text{ kN/m} \\ S_a &= 0,518248 \end{aligned}$$

Dengan parameter diatas maka dapat dihitung nilai target perpindahan dengan dasar kurva idealisasi dari *pushover analisis*. Tahapan perhitungan target perpindahan sesuai *FEMA 356* sebagai berikut:

- Mengitung periode efektif struktur:

$$\begin{aligned} T_e &= T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \\ &= 1,914 \sqrt{\frac{141652,484}{141652,484}} \\ &= 1,914 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Menentukan nilai C_0

Nilai C_0 ditentukan berdasarkan tabel 3-2 *FEMA 356* dan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 48 Faktor modifikasi C_0 *FEMA 356*

Number of stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

Maka digunakan nilai $C_0 = 1.5$, berdasarkan tabel diatas untuk bangunan 5 lantai.

- Menentukan nilai C_1

Jika $T_e > T_s$, maka $C_1 = 1$

$$\text{Jika } T_e < T_s, \text{ maka } C_1 = \frac{1 + \frac{(R-1)T_s}{T_e}}{R}$$

Nilai $T_e = 1,914$, $T_s = 0,679 \rightarrow T_e > T_s$, maka nilai $C_1 = 1$

- Menentukan nilai C_2

Nilai C_2 ditentukan berdasarkan tabel 3-3 *FEMA 356* yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 49 Faktor modifikasi C_2 *FEMA 356*

Structural Performance Level	$T \leq 0.1$ second ¹		$T \leq T_s$ second ¹	
	Framing Type 1 ²	Framing Type 2 ²	Framing Type 1 ²	Framing Type 2 ²
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
3Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections-only trusses, unreinforced masonry walls, shear-critical piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.
2. All frames not assigned to Framing Type 1.
3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T .

Dari tabel 49 maka dapat ditentukan bahwa nilai level kinerja desain adalah *Life Safety* dengan nilai $T_e > T_s$, dan digunakan type 2 sehingga $C_2 = 1$

- Nilai $C_3 = 1$ (kekakuan pasca leleh adalah positif)

- Menghitung target perpindahan

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4 \pi^2} g \\ &= 1,5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,518248 \times \frac{1,914^2}{4 \pi^2} \times 9,81 \\ &= 0,342 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Drift* aktual

$$\begin{aligned} &= \delta_T / H_{\text{tot}} \\ &= 0,342 / 38 \end{aligned}$$

$$= 0,009 \rightarrow \text{Immediate Occupancy}$$

Untuk arah y-y dihitung juga terlebih dahulu parameternya, dicek di tabel *FEMA 356*.

Secara keseluruhan sama dengan perhitungan arah x-x diatas untuk dapat menentukan target perpindahannya. Berikut parameter dan hasil target perpindahan untuk arah y-y:

Tabel 50 Rekap performance level desain dan hasil analisa

Arah	Parameter	Analisa (ATC 40)	Analisa (FEMA 356)
Arah x-x	Target <u>perpindahan</u> (m)	0,2526	0,342
	Drift <u>aktual</u>	0,006	0,009
	Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Arah y-y	Target <u>perpindahan</u> (m)	0,2162	0,341
	Drift <u>aktual</u>	0,005	0,008
	Level Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

Dari tabel 50 dapat dilihat bahwa pada struktur menggunakan base isolator tipe FPS untuk hasil analisa *pushover* menggunakan metode *ATC 40* memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* pada arah X maupun arah Y. Dan untuk hasil analisa menggunakan metode *FEMA 356* juga berada dilevel *Immediate Occupancy* pada arah X maupun arah Y.

V. PEMBAHASAN

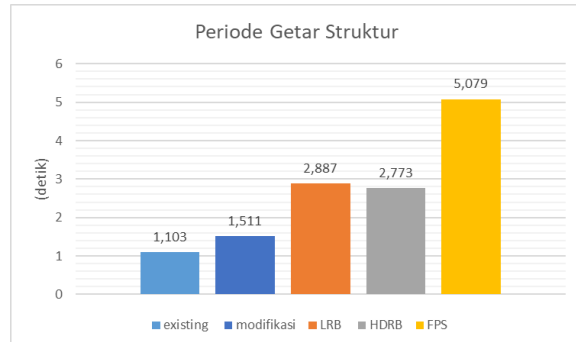
Perbandingan Periode Getar Alami Struktur Fixed Base dan Base Isolator

Berdasarkan teorinya struktur dengan base isolation sistem bertujuan untuk mengurangi spektrum percepatan dengan menambah periode getaran. Dari hasil analisa struktur didapatkan bahwa struktur dengan base isolator dapat meningkatkan periode getar struktur bila dibandingkan dengan struktur konvensional (*fixed base*).

Pada struktur dengan base isolator tipe LRB didapatkan nilai periode struktur sebesar 2,887, untuk struktur dengan tipe base isolator tipe HDRB didapatkan nilai sebesar 2,773, sedangkan pada tipe FPS didapatkan nilai periode getar stuktur sebesar 5,079. Untuk lebih lengkapnya perbandingan periode struktur dapat dilihat pada Tabel 51 dan Gambar 48.

Tabel 51 Perbandingan periode struktur Base Isolator dengan Fixed Base

Mode	Periode Struktur				
	Existing	Modifikasi	Base Isolator	Base Isolator	Base Isolator
	(detik)	(detik)	LRB	HDRB	FPS
1	1,103	1,511	2,887	2,773	5,079
2	1,07	1,464	2,852	2,739	5,04
3	0,965	1,324	2,45	2,355	4,465
4	0,346	0,556	0,889	0,881	1,093
5	0,339	0,549	0,87	0,863	1,064



Gambar 48 Perbandingan nilai Getar Struktur Base Isolator dengan Fixed Base

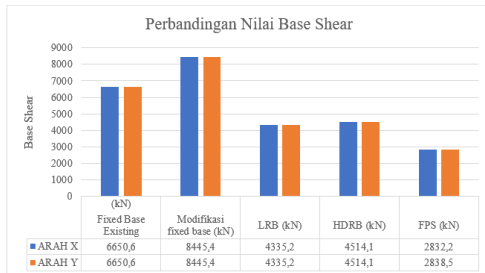
Dilihat dari tabel 51 dan gambar 48 hasil perbandingan nilai periode getar struktur base isolator dengan tipe FPS terbukti paling efektif dalam meningkatkan periode getar struktur.

Perbandingan Nilai Gaya Geser Dasar

Dari perhitungan struktur didapatkan bahwa struktur dengan sistem base isolator dapat mengurangi gaya geser dasar yang pada struktur gedung dibandingkan dengan sistem struktur fixed base konvensional. Perbandingan nilai gaya geser dasar dapat dilihat pada tabel 52 dan gambar 49.

Tabel 52 Perbandingan nilai Gaya Geser Dasar Base Isolator dengan Fixed Base

Arah Tinjau	Gaya Geser Dasar (Base Shear)				
	Fixed Base Existing (kN)	Modifikasi fixed base (kN)	LRB (kN)	HDRB (kN)	FPS (kN)
Arah X	6650,6	8445,4	4335,2	4514,1	2832,2
Arah Y	6650,6	8445,4	4335,2	4514,1	2838,5



Gambar 49 Perbandingan nilai Gaya Geser Dasar Base Isolator dengan Fixed Base

Dari perbandingan grafik gaya geser dasar base isolator dengan modifikasi fixed base dapat diketahui bahwa base isolator dengan tipe LRB dapat mereduksi nilai base shear sebesar 49%, untuk tipe HDRB dapat mereduksi nilai base shear sebesar 47%, dan untuk base isolator tipe FPS dapat mereduksi nilai base shear sebesar 66%.

Perbandingan Nilai Displacement

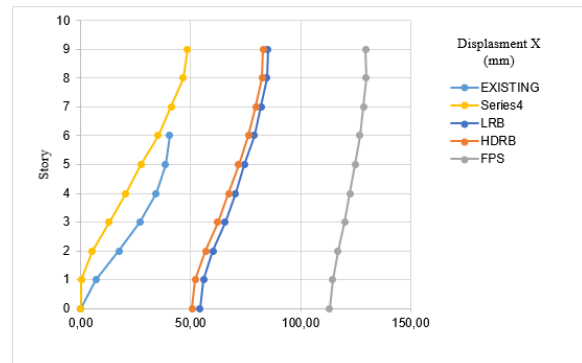
Dari hasil perhitungan pada sistem struktur base isolator didapatkan nilai simpangan pada dasar struktur hal ini diakibatkan oleh penerapan base isolator yang mengakibatkan dasar struktur bersifat fleksibel sedangkan pada sistem struktur fixed base tidak terjadi simpangan pada dasar struktur hal ini diakibatkan karena pada sistem struktur fixed base kaku dan tidak memungkinkan untuk terjadinya simpangan. Perbandingan nilai simpangan struktur dapat dilihat pada Tabel 53, Gambar 50-51.

Tabel 53 Perbandingan nilai Simpangan antar lantai Base Isolator dengan *Fixed Base* arah X dan Y

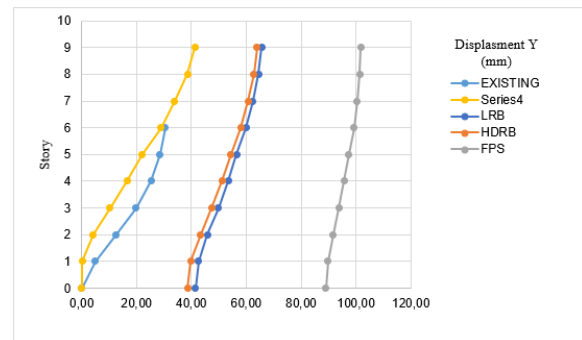
Story	Perbandingan nilai Displacement									
	Fixed Base Existing (mm)		Fixed Base Modifikasi (mm)		LRB (mm)		HDRB (mm)		FPS (mm)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
9			48,66	41,35	85,18	65,55	83,03	63,96	129,62	101,82
8			46,61	38,67	84,73	64,54	82,51	62,88	129,92	101,47
7			41,14	33,94	82,12	62,46	79,75	60,67	128,63	100,44
6	40,4	30,4	35,21	28,87	79,00	60,00	76,45	58,08	127,06	99,20
5	38,5	28,5	27,31	22,16	74,50	56,52	71,72	54,41	124,74	97,40
4	34,2	25,4	20,48	16,54	70,36	53,42	67,38	51,16	122,56	95,75
3	26,9	19,9	12,91	10,32	65,54	49,81	62,33	47,38	119,96	93,79
2	17,4	12,7	5,31	4,17	60,29	45,91	56,85	43,31	117,09	91,64
1	6,9	4,9	0,30	0,25	55,84	42,56	52,21	39,82	114,61	89,78
Base	0,0	0,0	0,00	0,00	54,27	41,50	50,62	38,73	113,26	89,09

Nilai simpangan pada dasar struktur dengan base isolator dipengaruhi oleh oleh kekakuan efektif dan redaman efektif dari masing-masing base isolator tersebut. Dari ketiga tipe base isolator tersebut base isolator dengan

nilai displacement paling besar yaitu base isolator FPS.



Gambar 50 Perbandingan nilai Displacement arah X



Gambar 51 Perbandingan nilai Displacement arah Y

Perbandingan Level Kinerja

Dari hasil analisis push over pada struktur fixed base existing dan struktur modifikasi dan ketiga tipe base isolator telah didapatkan level kinerja untuk masing-masing tipe base isolator.

Pada analisis pushover struktur existing didapatkan nilai level kinerja *Immediate Occupancy (IO)* berdasarkan ATC 40 dan FEMA 356, untuk struktur gedung fixed base modifikasi berada di level *Immediate Occupancy (IO)* berdasarkan metode ATC 40 dan *Damage Control (DC)* pada arah Y dengan metode FEMA 356. Pada struktur gedung dengan base isolator tipe LRB didapatkan level kinerja *Immediate Occupancy (IO)* berdasarkan ATC 40 dan FEMA 356, pada analisis pushover dengan base isolator tipe HDRB berada pada level kinerja *Immediate Occupancy (IO)* berdasarkan ATC 40 dan *Damage Control (DC)* dengan metode FEMA 356, Sedangkan pada analisa pushover dengan base isolator tipe FPS didapatkan level kinerja *Immediate Occupancy (IO)* berdasarkan ATC 40 dan FEMA 356.

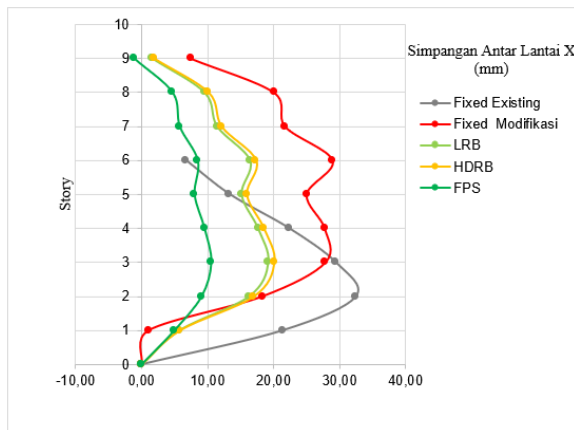
Tabel 54 Perbandingan nilai level kinerja struktur arah X dan Y

Perbandingan Nilai Level Kinerja					
Struktur Gedung	Arah Tinjau	Metode Analisa	Target Perpindahan (m)	Drift Aktual	Level Kinerja
Fixed Base (Existing)	X-X	(ATC 40)	0,0943	0,003	IO
		(FEMA 356)	0,223	0,008	IO
	Y-Y	(ATC 40)	0,0917	0,003	IO
		(FEMA 356)	0,192	0,007	IO
Fixed Base (Modifikasi)	X-X	(ATC 40)	0,1216	0,0032	IO
		(FEMA 356)	0,302	0,007	IO
	Y-Y	(ATC 40)	0,1187	0,003	IO
		(FEMA 356)	0,453	0,012	DC
LRB	X-X	(ATC 40)	0,164	0,004	IO
		(FEMA 356)	0,382	0,10	IO
	Y-Y	(ATC 40)	0,161	0,004	IO
		(FEMA 356)	0,286	0,007	IO
HDRB	X-X	(ATC 40)	0,2465	0,006	IO
		(FEMA 356)	0,648	0,017	DC
	Y-Y	(ATC 40)	0,2424	0,006	IO
		(FEMA 356)	0,506	0,013	DC
FPS	X-X	(ATC 40)	0,2526	0,006	IO
		(FEMA 356)	0,342	0,009	IO
	Y-Y	(ATC 40)	0,2162	0,005	IO
		(FEMA 356)	0,341	0,008	IO

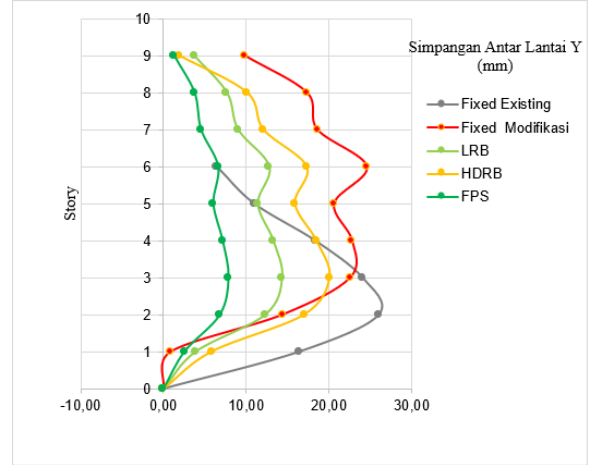
Perbandingan Simpangan Antar Lantai

Dari hasil analisis didapatkan bahwa struktur dengan base isolator memiliki nilai simpangan antar lantai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur fixed base. Perbandingan nilai simpangan antar lantai dapat dilihat pada Tabel 55.

Story	Simpangan Antar Lantai (mm)									
	Fixed Existing		Fixed Modifikasi		LRB		HDRB		FPS	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
9			7,509	9,827	1,653	3,696	1,932	3,964	-1,093	1,287
8			20,068	17,34	9,562	7,648	10,124	8,107	4,701	3,766
7			21,751	18,601	11,465	8,998	12,1	9,5	5,768	4,55
6	6,684	6,439	28,967	24,581	16,478	12,76	17,34	13,431	8,503	6,622
5	13,317	10,949	25,032	20,614	15,176	11,377	15,913	11,935	8,008	6,046
4	22,319	18,33	27,76	22,803	17,688	13,24	18,509	13,853	9,522	7,172
3	29,363	24,035	27,889	22,565	19,242	14,303	20,09	14,934	10,538	7,876
2	32,413	26,008	18,355	14,384	16,335	12,276	17,017	12,789	9,079	6,831
1	21,373	16,412	1,096	0,898	5,742	3,883	5,823	4	4,961	2,537
Base	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0

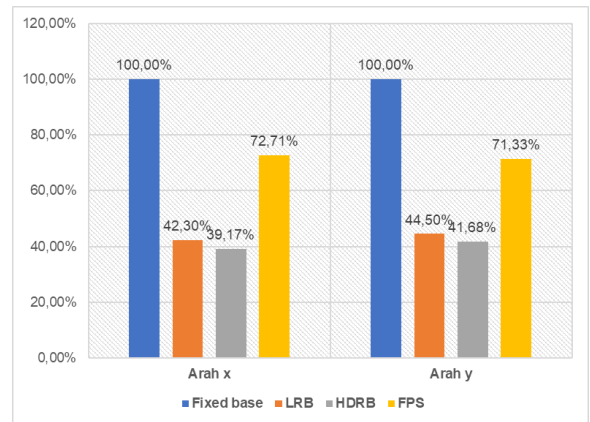


Gambar 52 Grafik perbandingan simpangan antar lantai arah x



Gambar 52 Grafik perbandingan simpangan antar lantai arah y

Jika ditinjau dari simpangan antar lantai maksimum yang terjadi pada struktur fixed base modifikasi, struktur dengan base isolator tipe LRB, HDRB dan FPS dapat mereduksi berturut-turut sebesar 42,30%, 39,17% dan 72,71% pada arah x. sementara pada arah y, struktur dengan base isolator tipe LRB, HDRB dan FPS dapat mereduksi berturut-turut sebesar 44,50%, 41,68% dan 71,33%. Perbandingan dapat dilihat pada gambar 4.103.



Gambar 53 Diagram perbandingan reduksi simpangan antar lantai

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan :

Setelah menganalisis struktur Gedung Rumah Sakit Umum Lombok Barat yang telah dimodifikasi didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dimensi elemen struktur balok dan kolom
Untuk dimensi balok didapatkan 4 tipe dimensi balok, Balok S1 (700x400), Balok B1 (600x400), balok B3 (400x250), dan balok B4 (500x300).
Sedangkan untuk dimensi kolom setelah dimodifikasi didapatkan 4 tipe dimensi kolom, Kolom KPD (1200x1200), Kolom K1 (700x700), Kolom K2B (500x500), Kolom K3C (400x400)
2. Dimensi tiga tipe base isolator
Untuk dimensi base isolator tipe LRB dengan kode **LH80G4** yang mengacu pada katalog Bridgestone, untuk base isolator tipe HDRB dengan kode **HL100X4S** yang mengacu pada katalog Bridgestone. Sedangkan untuk Base isolator tipe FPS didapatkan tipe **TSP 6000/400/7**.
3. Perbandingan efektifitas ketiga base isolator
 - Analisis pushover struktur existing
Pada analisis pushover dengan data existing didapatkan level kinerja Gedung berada pada level **Immediate Occupancy (IO)** berdasarkan metode ATC 40 dan dengan metode FEMA 356.
 - Analisis pushover modifikasi 7 lantai
Pada analisis pushover dengan Gedung yang sudah dimodifikasi didapatkan level kinerja gedung pada level **Immediate Occupancy (IO)** berdasarkan metode ATC 40 dan **Damage Control (DC)** pada arah Y dengan metode FEMA 356.
 - Analisis pushover dengan base isolator tipe LRB
Pada analisis pushover dengan Gedung yang sudah dimodifikasi didapatkan level kinerja gedung pada level **Immediate Occupancy (IO)** berdasarkan ATC 40 dan FEMA 356.
 - Analisis pushover modifikasi dengan base isolator tipe HDRB
Pada tipe HDRB didapatkan level kinerja struktur pada level **Immediate Occupancy (IO)** dengan metode ATC 40 dan **Damage Control (DC)** dengan metode FEMA 356.
 - Analisis pushover modifikasi dengan base isolator tipe FPS

Untuk analisis pushover pada tipe base isolator FPS level kinerja struktur berada pada level kinerja **Immediate Occupancy (IO)** dengan metode ATC 40 dan FEMA 356.

4. Menentukan tipe base isolator paling efektif sebagai peredam gempa
Berdasarkan nilai perbandingan *base shear*, nilai *displacement*, nilai periode getar struktur dan berdasarkan nilai level kinerja gedung pada masing-masing jenis base isolator dapat disimpulkan bahwa base isolator dengan tipe **FPS** merupakan jenis base isolator yang paling efektif sebagai peredam gempa dibandingkan tipe **LRB** dan **HDRB**.

Saran

Adapun saran dalam tugas akhir ini diantaranya sebagai berikut

5. Dapat dicoba menggunakan metode analisis yang berbeda dalam menentukan kinerja struktur bangunan.
6. Memperhatikan parameter-parameter yang akan digunakan dalam proses analisis *pushover* dengan bantuan program computer agar hasil lebih akurat dan sesuai dengan kondisi aslinya apabila terjadi bencana gempa bumi.
7. Dalam melakukan modelling untuk mendapatkan kinerja struktur dengan metode *pushover*, dilakukan percobaan berulang agar dapat lebih dimengerti hasil yang didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Suharto, (2023). Perancangan Struktur Gedung Rumah Sakit Menggunakan Struktur Komposit Baja-Beton Dan Base Isolator Tipe *High Damping Bearing (HDRB)*. Universitas Mataram.
- Nurpitriani, (2023). Redesain Dan *Performance Based Analysis* Struktur Beton Bertulang Gedung IGD Terpadu RSUD Provinsi NTB Terhadap Beban Gempa Dengan *Direct Displacement Based Design (DDBD)* Sistem Ganda. Universitas Mataram.
- Aprianingsih, (2023). Analisis Perbandingan Kinerja Fixed Base Dengan Base Isolation Pada Gedung Tempat Evakuasi Sementara (TES) Bangsal Kabupaten Lombok Utara. Universitas Mataram.

- Ahmad, (2023). Investigasi Dan Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Tempat Evakuasi Sementara (TES) Lombok Utara Pasca Gempa Lombok Dengan Metode *Pushover Analysis*. Universitas Mataram.
- Nugroho, Rakaditya. (2019). Analisis Perbandingan Kinerja *Fixed Base* Dengan *Base Isolation* Tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) Dan Tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB) Studi Kasus Pada Gedung Hotel Sutan Raja Mataram. Universitas Mataram.
- Kelly, E.T., (2001). *Base Isolation Of Structures: Design Guidelines* Holmes Consulting Group Ltd. Wellington.
- Andrian, (2017). Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan *Base Isolation* Tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisis *Pushover*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Tavio, & Wijaya, U. 2018. Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*). Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya SNI 1727:2020*. Departemen Pekerjaan Umum: Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019*. Departemen Pekerjaan Umum: Jakarta.
- Bridgestone, (2017). *Seismic Isolation Product Line-Up*. Bridgestone Corporation Jepang.
- Naeim, F., & Kelly, J.M., 1999, *Design Of Seismic Isolated Structures: From Theory To Practice*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1. California. Seismic Safety Commission State of California.
- SKBI – 1.3.53.1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum: Jakarta.
- Pemerintah Kabupaten Lombok Utara. (2023). *Peta Wilayah Kabupaten Lombok Barat*. kabupaten-lombok-barat.html/.
- Samsya, Ingki, (2017). Evaluasi Aplikasi Penggunaan *Base Isolation* Pada Gedung Grand Keisha Menggunakan Analisa *Pushover*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- FEMA-356. 2000. *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*. Virginia. American Society of Civil Engineers.